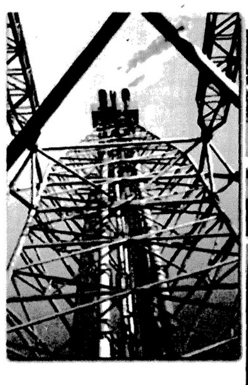
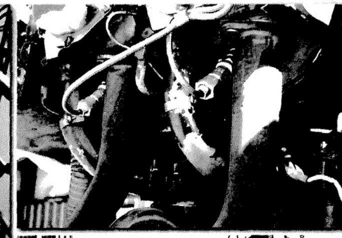
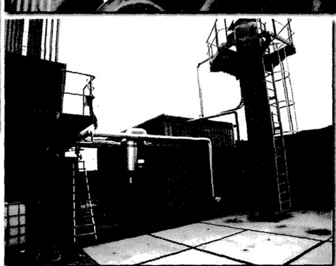
التآكل وتكنولوجيا المياه

في

حقول البترول والغاز

ترجمة وإعداد

مهندس استشاري

محمد أحمد خليل



التآكل وتكنولوجيا المياه

فى

حقول البترول والغاز

ترجمة وإعداد

مهندس استشاري

محمد احمد السيد خليل

رقـــم الإيـــداع: 16068/ 2006

السيد، محمد أحمد
التآكل وتكنولوجيا المياه فى حقوق البترول والغاز
ط1- القاهرة : دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 2006
304ص ؛ 17×24سم.
تدمك 977-287-642-6
1- التآكل وتكنولوجيا المياه
أ. العنوان

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

50 شارع الشيخ ريحان - الدور الأول - شقة 12

عابدين - القاهرة ☎: 7954229

E-mail:sbh@link.net



مقدمة

لقد تناول هذا الكتاب بأسلوب علمي مبسط مشاكل التآكل والمياه في حقول إنتاج البترول والغاز. وقد تم معالجة هاتين المشكلتين معاً لسببين. أولهما أن كل التآكل الذى يحدث في معدات الإنتاج يكون أساساً في وجود الماءِ السائل. لذلك كان من الضرورى بعض المعلومات عن خواص المياه وتفاعلاتها لمعرفة كيف وأين يحدث التآكل. رغم أن نظم صرف المياه ونظم حقن المياه لها مشاكل أخرى بالإضافة إلى التآكل، إلا أن العاملين القائمين على برنامج الحماية من التآكل يجب أن يتعاملا مع مشاكل تداول المياه كذلك. ولهذا فإن هذا الإصدار الذى أعده المؤلف دليل على الخبرة العلمية والعملية في حقول آبار البترول والغاز. ولقد كان هذا هو الدافع إلى ترجمته لإثراء المكتبة العربية ولإفادة العاملين في حقول البترول والغاز وذلك لندرة الإصدارات في هذا المجال.

وقد أعد هذا الكتاب في بابين حيث تناول الباب الأول موضوع التآكل في عشرة فصول والباب الثاني تكنولوجيا المياه في خمسة فصول وموضوعاتها موضحة في فهرست الموضوعات.

تم نشر هذا الكتاب في عام 1992م بواسطة جمعية الاستشارات الدولية للزيت والغاز في ولاية أوكلاهوما الأمريكية.

الباب الأول

1

الحمـــاية من التآكـــل لحقـول آبار البتـــرول والغاز

الفصـــل الأول : حدوث التآكل وعوامل بسيطه

الفصـــل الثانى : أساسيات طرق الحماية من التآكل

الفصـــل الثالث : المثبطات الكيماوية

الفصـــل الرابع : الحماية الكاثودية

الفصل الخامس : التغطية للحماية والبلاستيَكات

الفصل السادس : إزالة الغازات العدوانية (كيمياوياً وميكانيكياً)

الفصـــل السابع : اختيار المواد .. اعتبارات التصميم والتداول

الفصـــل الثامن : الطرق الخاصة بالحد من التآكل فى عمليات إنتاج البترول

الفصـــل التاسع : التحكم فى التآكل فى مشروعات زيادة الانتاج

الفصـــل العاشر : الكشف عن التآكل ورصده

الفصل الأول

حدوث التآكل وعوامل تنشيطه

مقـدمـة :

يوصف التآكل عادة بأنه الإتلاف للمادة، ويكون عادة فى المعدن وذلك بالتفاعـل مع المجال الملاصق. في هذه الدراسة سوف يتم تناول الـصلب المعـرض للمـاء. الموجود في كل حالات العدوانية التى نقابلها في عمليات إنتـاج البتـرول. والنتيجـة النهائية يمكن أن فى ثقب خط التدفق أو في خزان، أو ثقب في دافع الطلمبة أو شـرخ في جلبة (Collar) عامود الحفر..الخ. في حالة تفهم كيفية حدوث عمليات التآكل فإنـه يمكن الوصول إلى طرق ووسائل إيقافه ومنع حدوثه مستقبلاً.

في الفصل الأول سيتم تناول الآليات الأساسية والتفاعلات التـي تحـدث أثنـاء عمليات التآكل، بما يمكن من توفير معرفة كل طرق الحماية من التآكل التـى سـيتم تناولها في الفصول التالية.

الطاقة الازمة لحدوث التآكل :

من المعروف أن الماسورة هى عبارة عن قطعة معدنية بها ثقب. إذا حدث وجود ثقب آخر بعد استخدام الماسورة لفترة ما، فإن ذلك يعني وجود حالة تآكل. ولكن كيف ولماذا وجد هذا الثقب الغير مرغوب فيه هذا؟ فلعمل ثقب في جدار الماسورة فإنه يلزم استخدام الطاقة من مصدر ما. والتآكل كذلك يتطلب انتقال الطاقة لعمل هذا الثقب الغير مرغوب فيه. ولكن من أين أتت هذه الطاقة؟ والإجابة هو التعريف الذى سبق ذكره أى هو تفاعل المعدن مع المجال الملاصق. كلا من المعدن والبيئة الملاصـقة يمكـن أن يوفرا الجهد اللازم لحدوث التآكل.

الطاقة العالية في المعادن :

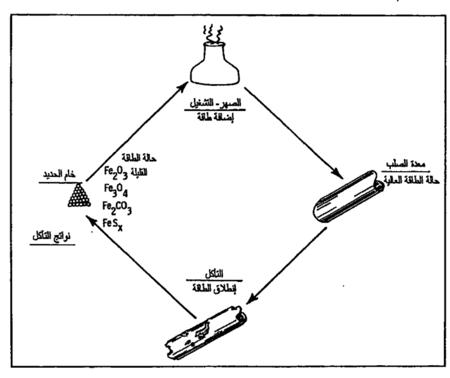
يمكن تفهم التآكل بأنه النتيجة الطبيعية للطاقـة المحتجـزة فـي المعـدن عنـد استخلاصه وتصنيعه. وهذا موضح في الشكل (1/1). الحديد والمعادن المشابهة يوجد في الطبيعة في شكل متحد مثل الأكاسيد، الكربونات، السلفيدات، الخامات هـى عـادة

مستقرة ولا تذوب في المياه. لتحويل الخام إلى المعدن النقي المفيد فإن ذلك يتطلب إضافة طاقة. لذلك فإن المعادن المستخلصة من الخامات تكون ذات محتوى عالى من الطاقة (أو في حالة غير طبيعية) مقارنة بخاماتها الطبيعية. لذلك فإنه يوجد ميل طبيعى للمعدن النقي ليعود ثانياً إلى الشكل المتحد الموجود في الطبيعة ويحدث هذا من خلال التفاعل مع الرطوبة، ثانى أكسيد الكربون، كبريتيد الهيدروجين والأكسجين ومكونات أخرى موجودة عادة في الجو والتربة والماء وفي مسارات العمليات.

المعادن المختلفة لها استعداد مختلف للتحول إلى الشكل الثابت المتحد. هذه الاختلافات تستخدم في توقع حدوث التآكل ومقاومة التآكل.

انتقال الطاقة أثناء التآكل :

لمعرفة كيفية انتقال الطاقة بين المعدن والبيئة الملاصقة أثناء عملية التآكل، فإنه يلزم معرفة شكل الطاقة . الوحدة الأساسية للطاقة يمكن اعتبارها الشحنة الكهربائية على أصغر جسم للمادة وهذه الشحنة تسمى الإليكترون (Electron).



شكل (1/1) دورة الطاقة للحديد

الالكترونات هى جسيمات ذات شحنة سالبة التى تكون جزء من كل الذرات (Atoms) التى تكون العناصر الطبيعية. الالكترونات عموماً لا توجد منفردة وليس لها

كتلة. يعبر عن الإليكترون بالرمز (e). وتتم حركة الالكترونات بسهولة خلال المعادن وهذه الحركة تسمى الكهرباء (Electricity). الذرات (Atoms) هى أصغر الجـسيمات لكل عنصر وهى من نواة كثيفة موجبة الشحنة محاطة بالالكترونات. عندما تفقـد ذرة المعدن إليكترون واحد أو أكثر فإن المتبقى يسمى أيون (Ion) وله شحنة موجبة (ذلك لفقد شحناتها السالبة).

$Fe^{o} - 2e \rightarrow Fe^{++}$

(ذرة حديد) (أيون حديدوز)

$Fe^{o} - 3e - \rightarrow Fe^{+++}$

(ذرة حديد) (أيون حديديك)

الأيونات موجبة الشحنة تسمى الكاتايونات (Cations).

العناصر الغير معدنية تكون أيونات سالبة الشحنة (آن أيونات – Ainions) عادة بتحلل الأملاح أو الأحماض في المحلول مثال :

$H_2S \rightarrow H^{+} + HS^{'}$

(سلفيد الهيدروجين – حامض) (أيون هيدروجين كاتايون) أيون السلفيد (آن أيون)

$CO_2 + H_2O \rightarrow H^{+} + HCO^{'}_3$

(ثانى أكسيد الكربون – حامض) ماء (أيون هيدروجين) أيون البيكربونات

$H_2SO_4 \rightarrow 2H^{+} + SO^{'}_4$

حامض كبريتيك أيون الكبريتات

$H_2O \rightarrow H^{+} + OH^{-}$

(ماء) (أيون الأيدروكسيد)

$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$

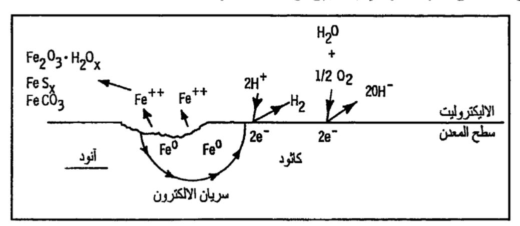
كلوريد الصوديوم أيون الصوديوم أيون الكلوريد

وجود أيون يحمل شحنة كهربية في المحلول في الماء تمكن الماء من أن يكـون موصلاً لكهرباء. والمحلول يسمى الإليكتروليت (Electorlyte).

التآكل في البيئة المائية يتضمن انتقال الطاقة بواسطة (1) سريان الإلكترون خلال المعدن و(2) سريان مساوى للشحنات الكهربية بتحريك الأيونات فـي الإليكتروليـت. لهذا السبب فإن التآكل يسمى التآكل الكهروكيميائي (ملحق أ).

خواص خلية التآكل الأساسية :

يمكن شرح طبيعة التآكل الكهروكيمائي بالمخطط الذى يوضح خلية التآكل في الشكل (1/2) .الشكل يوضح سطح قطعة من الصلب ملتصقة بالماء (الإليكتروليت) المحتوى على أيونات حاملة للشحنة. انتقال الشحنة بين سطح المعدن والإليكتروليت هو تفاعلات نصف خلية (Half Cell Reactions) نظراً لطبيعة تفاعل نصف الخلية الكهربى فإن هذه التفاعلات تحكمها القوانين الكهربية. (الشكل 1/2) يوضح سطح قطعة الصلب الملتصقة بالماء (الإليكتروليت) المحتوى على أيونات حاملة لشحنة كهربية. الفقد للمعدن من السطح يحدث عند مساحة محلية تسمى الآنود (Anode). عند الآنود تتحول ذرات الحديد المتعادلة Fe^{o} إلى أيونات الحديدوز Fe^{++} التي تذهب وتذوب في المحلول. هذا يتم أولاً ذلك لأن الحديد النقى نسبياً يكون عند مستوى عالى من الطاقة وله قيمة جهد إذابة كبير أو استعداد للإذابة.



شكل (1/2) توضيح لخلية التآكل الأساسية

تفاعلات نصف الخلية الآنودي (Anodic half cell reactions)

مع تكون كل أيون حديد Fe^{++}، فإنه يترك عدد (2) الكترونات (2e) حاملة للشحنة الكهربية السالبة في المعدن وبذا تعطى المعدن شحنة سالبة صغيرة. تفاعل النصف خلية هو

$$Fe^{o} \rightarrow Fe^{++} + 2e \qquad (أ)$$

ذرة الحديد التى تفقد الكتروناتها يقال أنها تأكسدت ذلك رغم عدم مساهمة الأكسجين. استمرار تفاعل الأكسدة الآنودية (فقد الإلكترون) يعمل على إحداث

الحديدوز المذاب Fe^{++} قرب سطح الآنود. في حالة عدم وجود سبب لإزالة Fe^{++} فإن تفاعل الآنود يبدأ في التبطئ، بالإضافة إلى أن الالكترونات الزائدة يجب أن تزال من قرب الآنود من أجل استمرار العملية. في عمليات إنتاج البترول عادة توجد مواد معينة في الماء التى تكون رواسب غير مذابة مع الحديد، وبذا ويزيله من المحلول. المواد العادية من هذه هى الأكسجين ، كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون فى المحلول تتفاعل هذه الغازات مع الحديد، كما هو موضح في الجانب الأيسر من الشكل (1/2) لتكوين أكاسيد الحديد المائية أو الصدأ ($Fe_2O_3H_2O_x$)، سلفيد الحديد (FeS) أو كربونات الحديد ($FeCO_3$). وبذا تزال أيونات الحديد المذابة مع استمرار تفاعل الآنود. وانطلاق الكترونات الزائدة قريبه من الآنود يحدث ضغط كهربى أو جهد (Potential). وهذا يسمى جهد نصف الخلية عند قياسه بالنسبة لقطب نصف خلية قياسى.

تفاعلات نصف الخلية الكاثودي : (Cathodic Half Cell Reactions)

بسبب وجود هذا الجهد الكهربى، فإن الالكترونات الزائدة تتحرك بعيداً عن الآنود خلال المعدن إلى نقطة حيث يمكن معادلة شحنتها أو أن تؤخذ. اكتساب الالكترونات في التفاعل الكيميائى أو الكهروكيميائي يسمى اختزال (Reduction) والمواد التى تكتسب الالكترونات يقال أنها اختزلت. المكان على سطح المعدن حيث يحدث الاختزال يسمى الكاثود (Cathode) والعملية التى تتم هى تفاعل نصف الخلية الكاثودى. في الشكل (1/2) توضيح لتفاعلين بالاختزال الكاثودي (المستهلك للأكسجين). الأكسجين المذاب يتم اختزاله عند الكاثود لتكوين أيونات الإيدروكسيد.

$$H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2e \rightarrow 2OH^- \quad (\text{ب})$$

في حالة عدم وجود الأكسجين ومع وجود حامض مثل H_2S أو CO_2، فإن التفاعل الكاثودي الذى غالباً ما يحدث هو اختزال أيونات الهيدروجين إلى الهيدروجين الجزئي (Molecular).

$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2 \quad (\text{غاز}) \quad (\text{جـ})$$

تراكم الهيدروجين الجزئى (غاز الهيدروجين) على الكاثود يبطئ من العملية الكاثودية.

تفاعلات الأكسدة – الاختزال:

(Oxidation – Readuction (Redox) Reactions)

من المهم تفهم طبيعة الأكسدة الآنودية والاختزال الكاثودى. تفاعلات نصف الخلية عند الآنود تسمى تفاعلات الأكسدة بسبب فقد شئ ما أو إطلاق الكترونات. حيث تفقد ذرات الحديد Fe^{O} عدد (2) اليكترون لتتكون أيونات الحديدوز (Fe^{++}). لذلك فإن ذرات الحديد يقال أنها قد تأكسدت. أيونات الحديد Fe^{++} التى تكونت بأكسدة ذرات الحديد يمكن أن يحدث لها أكسدة تالية بسهولة. فمثلاً، في حالة وجود أكسجين الهواء الجوي مذاباً، فإن أيونات Fe^{++} (الحديدوز) تتأكسد إلى أيونات الحديديك (Fe^{+++}) وذلك بإعطاء الكترونات إلى الأكسجين لتكوين أكسيد الحديد أو الصدأ.

$$2Fe^{++} + 1\,½\,O_2 \rightarrow Fe_2\,O_3$$ (غير مذاب) (د)

في الشكل (1/2) يمثل الصدأ بالمعادلة $Fe_2O_3\text{-}H_2Ox$ والذى يعني أن هناك تغير في كمية الماء المتحد مع الصدأ المتكون في وجود الماء. في كلا المعادلتين (أ)، (ب) تحدث أكسدة للحديد لأنه يطلق الكترونات.

صدأ الحديد يشار له كأكسدة أو تآكل الأكسدة لتميزه عن باقى أشكال التآكل التى تحدث عند عدم وجود الأكسجين فمثلاً، في الماء الخالي من الهواء المحتوى على H_2S فإن تفاعل التآكل الكلى يمكن توضحيه كالآتى :

$$Fe^{o} + H_2S \rightarrow FeS + H_2$$ (هـ)

في هذا المثال، فإن الحديد يتأكسد ذلك رغم عدم وجود الأكسجين، تتم الأكسدة من خلال تحول المحلول في شكل أيونات Fe^{++} والذى يتحد بسرعة مع H_2S ليكون سلفيد الحديدوز (FeS) الغير مذاب. لاحظ في هذه الحالة، أن خطوة الأكسدة التالية لتحويل Fe^{++} إلى Fe^{+++} لا تحدث كما في حالة وجود الأكسجين.

في حالة أن يكون جهد الأكسدة الكهربية (الاستعداد لإطلاق الالكترونات) مرتفعاً بما فيه الكفاية، يمكن أن تحدث تفاعلات أكسدة أخرى عند أسطح الآنود، فمثلاً، ذرتين أكسجين في الماء ($2H_2O$) يمكن أن تتأكسد عند الآنود إلى الأكسجين الغازي الجزئي وذلك لإطلاق إليكترون واحد لكل .أيونات الكلور (Cl^{1}) في الماء المالح يمكن أن تتأكسد بالمثل إلى غاز الكلور (Cl^{2}).

كما سبق شرحه، فإن الالكترونات التى تنطلق بتفاعلات الأكسدة تتحـرك بعيـداً خلال المعدن الموصل إلى أماكن أخرى حيث تؤخذ أو تستهلك. في المعادلة (ب) تـم استهلاك الالكترونات بالتفاعل مع الأكسجين في الماء لتكوين أيونات الإيدروكسيد. في المعادلة (جـ) فإن الالكترونات استهلكت بالتفاعل مع أيونات الهيدروجين لتكوين غاز الهيدروجين ، كلا هذين هو تفاعلات اختزال ذلك بسبب استهلاك الالكترونات. يمكـن أن تحدث تفاعلات اختزال أخرى ولكن هذين هما الأكثر شيوعاً فـي تآكـل معـدات حقول البترول بعد كل هذه المعلومات يمكن توضيح معنى تعريفين :

(1) الآنود هو المكان أو القطب حيث تحدث تفاعلات الأكسدة (فقد الالكترونات).

(2) الكاثود هو المكان أو القطب حيث تحدث تفـاعلات الاختـزال (اسـتهلاك الالكترونات) لا يحدث فقط في المعادن عند استمرار تفاعل الاختزال.

الخواص الكهربية لخلايا التآكل :

خلية التآكل تتكون من قطبين نصف بطارية (Two Half Cell Electrodes) وهمـا (الآنود والكاثود) المغمورين فى الإليكتروليت ومتصلين بممر معدنى، كما هو موضح في الشكل (1/3) مساحات الآنود والكاثود (الأقطاب) يمكن أن تكـون قطعـة معـدن واحدة أو معدنين منفصلين متصلين بموصل كهربى.

أيونات المعدن تترك الآنود عن طريق الإليكتروليت، ولكن الالكترونات تتحـرك من الآنود إلى الكاثود عن طريق موصل معدني. الآنود يحدث له التآكل ولكن الكاثود تحدث له الحماية من التآكل. المعادن الثمينة (الأقل نشاطاً) مثل البلاتين وبعض المواد الغير معدنية مثل الكربون يمكن أن تعمل كآنودات (استمرار تفاعلات الأكسدة) بدون التآكل.

سريان تيار الالكترونات هو نتيجة لفرق الجهد (ΔE) ما بين الآنود والكاثود. فرق الجهد هذا (يسمى كذلك الفولت أو قوة الدفع الكهربى) التى تنتج من (1) اختلاف فـي الأقطاب (2) اختلاف المجال الملاصق حول الأقطاب أو (3) كليهما.

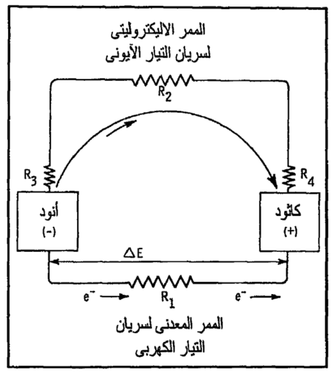
كمية التيار المتدفق في خلية التآكل (وبالتالي كمية التآكل عند الآنود) تتوقف على قيمة فولت الدفع (Driving Voltage) وإجمالي المقاومة المؤثرة أو إعاقة سريان التيار في الخلية. العلاقة بين هذه الوحدات في دائرة كهربية بسيطة مكونة مـن موصـلات معدنية يعبر عنها بقانون أوم.

$$I=\frac{E}{R} or E=I R$$

حيث I = التيار بالأمبير.

E = الجهد أو قوى الدفع الكهربى (EmE) بالفولت.

R = المقاومة بالأوم.



شكل (1/3) مخطط لتمثيل خلية التآكل كخلية كهربية

لاحظ في الشكل (1/3) وجود أربع دوائر مقاومات.. المقاومات الحدية (Boundary Resistances) R_4 & R_3 هى حقيقة مقاومات ظاهرة أو مؤثرة على سريان التيار بسبب كلا من طبقات السطح (Surface films) وإعاقة كلا من تفاعلات الآنود والكاثودية الذى تم مناقشتها (ملحق أ) . في عمليات الحماية من التآكل عمليا فإن إجمالي مقاومة الخلية تؤخذ كإجمالي لكل المقاومات.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

حيث :

R_1 = مقاومة الممر المعدنى (يكون عادة منخفض وبذلك يمكن إهماله).

R_2 = مقاومة الممر الإليكتروليتي.

R_3 = المقاومة الظاهرة أو المقاومة الحدية المؤثرة عند الآنود.

R_4 = المقاومة الظاهرة أو المقاومة الحدية المؤثرة عند الكاثود.

جهود القطب واتجاه تدفق التيار:

(Electrode Potentials Direction of Current - Flow)

الفرق في جهد القطب (ΔE) بين الآنود والكاثود هو مقياس لدفع الفولت (Driving Voltage) المتاح لإحداث سريان التيار وبذا يحدث التآكل. كلا من الأقطاب يحدث جهود نصف خلية التى تعتبر متضادة في الاستقطاب (Opposite in Polarity) بالنسبة لكل منهما للآخر، أى أن أحدهما يكون موجباً (+) والآخر يكون سالباً (−) طبقاً للتقليد الحديث، فإن الآنود في خلية التآكل يعتبر سالب (−) بالنسبة للكاثود (+).

معظم مراجع التآكل العملي تناقش سريان التيار الكهربي من الآنود إلى الكاثود خلال الإليكتروليت. وهذا موضح كسريان تيار تقليدي في الشكل (1/3) والاتجاه يكون بالعكس بالنسبة لسريان الالكترونات في المعدن. طبقاً لمبدأ سريان التيار فإن التآكل يحدث حيث يترك التيار المعدن. عند إعادة دخول التيار فإن التآكل يمكن منعه. لذلك فإنه عند قراءة الكتب والمراجع عن التآكل فإن الاتجاه التقليدي لسريان التيار وليس سريان الالكترونات يتم أخذه في الاعتبار وافتراضه طالما لم يتم توضيح عكس ذلك من المهم معرفة أن علامة الفولت (+ أو −) للآنودات والكاثودات هى اختيارية تماماً وهى تعنى فقط بالنسبة لفولت قياسى (Reference Voltage) جهود كلا القطبين أو نصفى الخلايا يمكن أن يكون سالباً (−) بالنسبة للقطب القياسى. ذلك حيث له أقل جهد سالب يعتبر موجباً بالنسبة للآخر. أنه الفرق (ΔE) بين جهود القطب (نصف الخلية) الذى له أهمية في مجال التآكل.

استقطاب الأقطاب (Polarization of Eletrodes)

فرق الجهد (ΔE) بين الآنود والكاثود ليس قيمة ثابتة ويكن أن يتغير بسهولة. فمثلاً، بالإشارة إلى الشكل (1/3) فإن المقاومات الحدية R_4 ، R_3 يمكن أن تزداد بالتغيرات الكيماوية التى تحدث على أقطاب الآنود والكاثود عند حدوث التآكل. ما تم سابقاً توضيح تراكم أيونات Fe^{++} قريباً من الآنود وجزئيات غاز الهيدروجين قرب الكاثود يعملا على خفض معدل التآكل. الخفض يعود إلى التغيرات في فولتات نصف

الخلية حيث يصبح الأنود أقل سلباً والكاثود أقل موجباً والفرق بينهما يـنخفض. هـذا التغير في جهد فولت نصف الخلية يسمى الاستقطاب. مع استمرار التآكل، فإن كلا من الأنود والكاثود يميل إلى الاستقطاب، ولكن ليس بالتساوى. بسبب تأثيرات الاستقطاب فإن فرق الجهد وكمية سريان التيار منخفض. سيتم فيما بعد مناقشة كيـف أن تـأثير الاستقطاب يمكن أن يقلل من التآكل وكذلك استخدامه في الأجهزة الإلكترونية لقيـاس معدلات التآكل.

خلايا التآكل الناتجة عن اختلافات الأقطاب:

(Corrosion Cells Created By Differences In Electordes)

لقد تم توضيح أن القوة الدافعة أو الفولت في خلية التآكل ينتج عن (1) الاختلافات في أقطاب الأنود والكاثود (2) الاختلافات في بيئتهم الملاصقة (3) كلا الحالتين فـي نفس الوقت. الحالة (1) الاختلافات في الأقطاب، يمكن اعتبارها السبب الأساسـي أو المحرك لتآكل المعدن في معظم الحالات. وهذا نتيجة أن المعادن الصناعية في حالـة غير متجانسة ومتغيرة في المكونات والخواص الطبيعية. على التـدريج المجهـري، يلاحظ الصلب العادي أنه يكون من بلوراتْ أو حبيبات من حديد نقي نسبياً (Fe) مـع تداخلات من كربيد الحديد FeC. كذلك توجد معادن أخرى أو مركبات معدنية بكميات مختلفة طبقاً لنوعية ودرجة معدن الصلب. في خلال البناء الـشبكي للـصلب توجـد شوائب مختلفة صغيرة وكبيرة من أكاسيد وسلفيدات لمعدن. الأسطح تكون مغطاة عادة بقشور (Mill scale) (Fe_3O_4) أو نواتج التآكل الأخرى. هذه الاختلافات في المكونـات هى التى تسبب وجود خلايا محلية من الأنود والكاثود.

كذلك فإن المعالجة الحرارية والتاريخ الميكانيكي لقطعة أو مساحة مـن الـصلب تكون السبب في كونها مختلفة عن القطع الأخرى. فمثلاً، يكون جزء التوصيل من خط المواسير مختلف عن جلبة التوصيل. الصلب عالى القوة لـه اختلافـات فـي بنـاء البللورات، وفي المكونات الكيماوية والخواص الطبيعية مقارنة بالصلب منخفض القوة. كل هذه العوامل هى التى تؤثر اذا كانت قطع معينة من الصلب، أو حتى نقطة واحدة على قطع من الصلب ستكون آنودية وتتآكل في مجال ملاصق معين.

. والأسباب التالية هى التى توضح لماذا يبدأ التآكل لمعدن معين أو بعض أجـزاء منه حيث أن جهد إذابتها يكون أعلا من ذلك لشئ آخر له اتصال كهربى معها. حبيبة الحديد النقي (Fe) لها جهد إذابة أعلا من حبيبة مجاورة من كربيد الحديد (Fe_3C) فهى

تكون الآنود في خلية تآكل صغيرة، وذلك في حالة غمر كليهما في إليكتروليت كـذلك فإن وصلة ماسورة نظيفة جديدة وضعت في خط مواسير قديمة مغطى بنواتج التآكـل يصبح الآنود في خلية تآكل كبيرة. جلبة التوصيل من الصلب الموضوعة فـي خـط مواسير النحاس تصبح آنودية في الحال وسوف تتآكل بمعدلات أعـلا عـن المعـدل العادي ذلك بسبب الالتصـاق مع النحاس الكاثودي.

كل ما سبق هو أمثلة للتآكل الناتج عن عدم التماثل للأقطاب. وهذا النـوع مـن التآكل يسمى التآكل الجلفني (Galvanic Corrosion).

التسلسل للجهد النسبي أو جهود المحلول للمعادن :

Tabulation of Relative EMF/s or Solution Potentials of Metals

في المراجع العلمية التى تختص بالكيمياء توجد جداول لمختلف المعادن بترتيـب طبقاً لنشاطها الكيماوي أو الاستعداد للتآكل. هذه الجداول يمكن استخدامها للمساعدة في شرح عملية التآكل وكذلك للمساعدة في توقع أى المعادن سيكون احتمال تآكلـه فـي مجال معين. ولكن هذه الجداول يمكن أن تسبب إرباك لغير المخـتص بمـا يتطلـب استخدامها بحرص.

تم إعداد الجدول (1/1) خصيصاً لتوضيح جهود القطـب. قـيم الجهـد (أعـداد الفولت) هى أمثلة باستخدام أقطاب قياسية أربع مختلفة.

المحلول القياسى أو جهود الأكسدة، Eo، في الجدول (1/1) تم قياسـها بمعـادن منفردة ملتصقة مع محلول قياسى محتوياً على أيونات لنفس المعـدن وفـى ظـروف مسيطر عليها بإحكام. قيم هذه الجهود تتغير طبقاً لنـوع، تركيـز، ودرجـة حـرارة المحاليل التى تتعرض لها المعادن. فمثلاً، فإن جهد الزنك يمكن أن يتحرك إلى أسـفل جهد الحديد في التسلسل وذلك عند تسخين الزنك ومحلول الزنك إلى درجـة حـرارة حوالى 80°م. الكروم في حالة المناعة (Passives State) يكون له جهد أقل في السلبية أو أكثر ندرة عن ذلك للحديد. عموماً النشاط أو استعداد المعادن للتآكل يقل عند التحـرك إلـى أسفل في التسلسل .المعادن عند أعلا جدول التسلسل تذوب في المحلول بسهولة نسبياً. معدن الصوديوم تلقائيا، يتحد في الحال وبسرعة مع الماء. بمعنى آخر، معدن الصوديوم يتآكـل بمعدل سريع جداً مقارنة بالحديد والمعادن الأخرى التالية إلى أسفل في التسلسل.

فعند نهاية التسلسل سنجد البلاتين والذهب. هذه المعادن لا تذوب (أى لا تتآكل) حتى في الأحماض القوية جداً. المعادن في نهاية التسلسل هى التى تسمى المعادن الثمينة (Noble – Metals) وتوجد في الطبيعة في الحالة المعدنية النقية.

عند استخدام نوعين مختلفين من المعادن كأقطاب في خلية تآكل، فإن المعدن الأعلا في الجهد يكون آنودي ويتآكل. والمعدن الآخر الكاثود عادة لا يحدث له أى ضرر مطلقاً بعد الفاصل بين المعادن في التسلسل، كلما زاد جهد الخلية كلما زاد الاستعداد للتآكل عند التوصيل الكهربى لكلا المعدنين.

المعدن الأعلى فى التسلسل يمكن أن يحل محل آخر له جهد أقل Eo من المحلول. فمثلاً قطعة من الحديد أو النيكل موضوعة في محلول مائى من كبريتات النحاس سوف تذوب في المحلول بدلاً من النحاس، والنحاس سوف يترسب على الحديد أو النيكل كطبقة تغطية معدنية (Metallic Coating). الزنك في محلول مخفف من حامض معدني سوف يحل بسرعة محل الهيدروجين (كجزئيات هيدروجين) من المحلول. لاحظ أن المعادن أعلا الهيدروجين في التسلسل لها قيمة Eo سالبة بينما تلك إلى أسفل لها قيم Eo موجبة. قطب الهيدروجين القياسى (ملحق 1 أ). كما ذكر سابقاً القيم العددية والاستقطاب (علامة + أو –) لجهود القطب الموضحة في الجدول (1/1) لها معنى فقط بالعلاقة إلى بعض الأقطاب القياسية .فمثلاً، في خلية تآكل مكونة من قطب من الحديد وقطب من النحاس مغمورين في البكتروليت وموصلين بموصل معدنى، فإن الحديد يكون سالباً (الآنود) بالنسبة للنحاس وفرق الجهد الأولى (ΔE) هو حوالى 0.78 فولت محسوبة كالآتى :

0.44 – (+ 0.34) = 0.78 Volts

(Iron Eo) Copper (Eo) (ΔE)

مع تقدم التآكل فرق الجهد ΔE يقل بسبب تأثيرات الاستقطاب.

التصاق المعادن الغير متماثلة : (Dissimilar Metal Couples)

في حالة التصاق معدنين مختلفين من بين قائمة التسلسل في نفس المحلول، فإن المعدن الأعلا في التسلسل عادة سوف يتآكل بمعدل أعلا عما لو كان لم يحدث له التصاق. في نفس الوقت، المعدن الأكثر ندرة (الأقل نشاطا) يتآكل بسرعة أقل وأحياناً لا يتآكل كلية. هذا يسمى التأثير الجلفني أو تأثير المعادن الغير متماثلة. كلما زاد الاختلاف في جهد المحلول للمعدنين، كلما زادت تلك التأثيرات. لهذا السبب فإن

المعادن ذات الفواصل الكبيرة في التسلسل يجب عدم التصاقها إلا في حالة القصد من تضحية أحد هذه المعادن النشطة مثل الألومنيوم أو الزنك أو المغنسيوم لحماية قطـــع هامة لمعدة. عملية التضحية هذه تسمى الحماية الكاثودية. وهى الـــسبب فـــي جلفنـــة الصلب وتوصيل المغنسيوم مع المواسير المدفونة.

عند التعامل مع الالتصاق للمعادن الغير متماثلة والمختلفة، يكون من المهم معرفة تأثير حجم القطب. مسمار من الحديد في لوح من النحاس سوف يتآكل بسرعة كبيـــرة ذلك لأن كل التيار سوف يتم تركيزه على الآنود الصغير نسبياً، حيث كثافـــة التيـــار عالية، عند تغيير أحجام الأقطاب (حديد كبير، نحاس صغير)، فإن التـــأثير الجلفنـــي سوف ينتشر على السطح الكبير للآنود والتلف سوف يكون أقل التركيز.

البيانات في الشكل (1/4) يوضح تأثير مساحة سطح الكـــاثود إلـــى الآنـــود فـــي التصاق الحديد/ النحاس المعرض لمحلول كلوريد الصوديوم 3% مع التهويـــة. لـــوح الحديد المعرض منفرداً لمحلول الملح المهوا يتآكل بمعدل 500 مليجـــرام/ الديـــسيمتر المربع في اليوم عند الالتصاق بلوح من النحاس بحجم أكبر 20 ضعف فإن لوح الحديد يتآكل بمعدل 600 مليجرام/ الديسيمتر المربع في اليوم.

جدول (1/1) القيم النسبية لجهد الاقطاب الفردية

(Relative Single Electrode Values)

المعدن	الأيون	Eo (1)	SCE (2)	$Cu/CuSO_4$ (3)	Ag/AgL (4)
الصوديوم	Na_+	2.71 -			
المغنسيوم، سبيكة المغنسيوم 6% ألومنيوم	Ng^{++}	2.37 –	– 1.62	1.6 –	1.1 –
الألومنيوم وسبيكة الألومنيوم (5%زنك)	AL^{+++}	1.66 –	0.9 –	0.8 –	0.7 –
الزنك	Zn^{++}	0.76 –	1 –	1	0.9 –
الكروم	Cr^{+++}	0.74 –			
الحديد	Fe^{++}	0.44 –	0.7 –	0.6 –	0.5 –
الصلب المطاوع (به صدأ)				–0.2إلى– 0.4	صفر إلى 0.3–
النيكل	Ni^{++}	0.25 –	0.3 –		
القصدير (Tin)	Sn^{++}	0.14 –			
الرصاص	Pb^{++}	0.13 –	0.2 –		
الهيدروجين	H^+	صفر			
الكربون (غير معدني)			0.3 +	0.3 +	
النحاس	Cu^{++}	0.34 +		0.5 +	
الفضة	Ag^+	0.8 +			
البلاتين	Pd^{++}	0.12 +	0.2 +		
الذهب	Au^{++}	1.5 +			

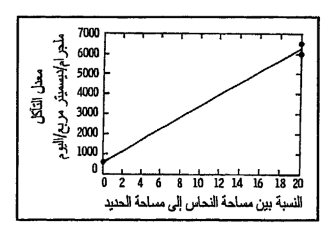
جهد الأكسدة أو المحلول القياسى مقابل قطب الهيدروجين القياسى (SHE).

قطب كالوميل المشبع في ماء البحر (Calomel Electrode).

قطب النحاس/ كبريتات النحاس.

قطب الفضة/ كلوريد الفضة.

الجدول (1/2) تم أعداده كدليل لحدوث التآكل لالتصاق المعدات ذات الجهود المختلفة ،عند تناول التصاق المعادن في حالة الالتصاق الموجودة في الجدول بالرمز (N6) لا يتم عملها.



شكل (1/4) تأثير مساحة الكاثود إلى الآنود عند التصاق الحديد/ النحاس المعرض لمحلول كلوريد الصوديوم المهوا

هذه الموضحة كموضع سؤال (Questionable) يمكن عملها وإجراءها على إحدى أجزاء معدن آخر يمكن استهلاكه بدون نتائج خطيرة على البيئة. التوصيلات الموضحة (ok) يمكن استخدامها بكفاية ولكن هذا لا يعني عدم فشلها. البيانات الموضحة في الجدول (1/2) هى كدليل فقط والمستخدم يجب أن يفترض كل مخاطر الاستخدام ويتوقعها.

بعض الأماكن الأكثر أهمية لإيجاد التصاق معادن غير متماثلة في معدات حقول البترول هو في طلمبات الأعماق، فوهة البئر (Wellhead)، طلمبات المياه المالحة (Brine Pumps). في الأخير عادة يتم تركيب رأس الطلمبة من البرونز أو النيكل المقاوم على جسم الطلمبة من الصلب الكربونى. الاتصال مقبول من الناحية الجلفنية طبقاً للجدول (1/2) في حالة المساحة النسبية (للصلب الكربونى) الكبيرة. عند وجود الالتصاق الجلفني (معدن غير متماثل) وتغطية جزء واحد من المعدة، فإنه سوف يكون معدن كاثودى. لا يتم تغطية الآنود ذلك لأن كثافة التيار سوف تكون عالية جداً عند مناطق الثقوب أو تفويتات الطلاء للتغطية ولذلك يمكن أن يحدث تآكل تقبى مركز (Concentrated Pitting).

الشكل (1/5) يوضح التآكل الجلفني الحاد لقلب الألومنيوم (Al Core) لمكبس حر خفيف الوزن يستخدم لتفريغ الماء المالح في بئر إنتاج الغاز بالضغط المنخفض. الطرف الحاد وجسم القيسون الخارجي من الصلب لا يتآكل لأن الصلب تم حمايته لكونه الكاثود في التصاق معدن الألومنيوم الغير متماثل.

الحالات الطبيعية للمعادن التى تعمل على تنشيط التآكل :

الجدول (1/1) يوضح الفرق الكبير في الجهد الذى يوجد بين نوعين من المعــدن مختلفين كيميائياً. ولكن قطعتين من الصلب ذات المكون الكيماوى الواحــد يمكــن أن تكونا خلية تآكل جلفنية وذلك في حالة اختلاف الظروف الطبيعية لواحد منهمــا عــن الآخر الآتى بعض الأمثلة:

1- المعادن ذات البناء المجهرى المختلف

(Metals with Different Microstructure)

جدول (2-1) دليل تآكل المعادن الغير متماثلة

(مشاكل تأثير التصاق معدنين في ماء البحر عند 25 م°)

المعدن الأول	المساحة النسبية	المعدن الثاني: سبائك الألومنيوم	كادميوم	نيكل مقاوم	براس أو برونز	نحاس	90/10 نيكل نحاس	70/30 نيكل نحاس	صلب مقاوم 410	صلب مقاوم 304	صلب مقاوم	سبيكة ألومنيوم	صلب كربوني
سبائك الألومنيوم	S	-	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6
	E	-	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6
	L	-	?	?	N6	N6	N6	N6	N6	?	?	N6	?
صلب كربوني	S	?	Ok	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	-
	E	N6	N6	?	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	-
	L	N6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-
نيكل/ نحاس/9/10	S	N6	N6	Ok	?	?	-	N6	N6	N6	N6	N6	ok
	E	N6	N6	N6	?	?	-	Ok	N6	N6	?	?	N6

.	L	N6	N6	N6	N6	N6	-	ok	N6	N6	ok	ok	N6
نيكل/نحاس (70/30)	S	N6	N6	Ok	?	?	ok	-	N6	N6	N6	N6	ok
	E	N6	N6	N6	?	?	ok	-	N6	N6	?	?	N6
	L	N6	N6	N6	N6	N6	N6	-	N6	N6	Ok	Ok	N6
نيكل مقاوم 1،2	S	?	Ok	-	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	ok
	E	N6	N6	-	N6	N6	N6	N6	N6	?	Ok	Ok	?
	L	N6	N6	-	Ok	Ok	N6	Ok	N6	Ok	Ok	Ok	Ok
نحاس	S	N6	N6	Ok	?	-	N6	N6	N6	N6	N6	N6	Ok
	E	N6	N6	N6	?	-	?	?	N6	N6	N6	?	N6
	L	N6	N6	N6	N6	-	?	?	N6	N6	N6	Ok	N6
براس أويرونز	S	N6	N6	Ok	-	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	Ok
	E	N6	N6	N6	-	?	?	?	N6	N6	N6	N6	N6
	L	N6	N6	N6	-	?	?	?	N6	N6	N6	Ok	N6
صلب مقاوم 304	S	?	N6	Ok	?	N6	Ok	Ok	?	-	?	N6	Ok

	E	N6	N6	Ok	?	N6	?	?	N6	-	N6	?	N6
	L	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	-	N6	?	N6
صلب مقاوم 316	S	N6	N6	Ok	Ok	Ok	Ok	N6	N6	?	Ok	-	Ok
	E	N6	N6	Ok	N6	?	?	N6	N6	N6	?	-	N6
	L	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	?		N6
المونيل	S	N6	N6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	N6	?	Ok	-	Ok
	E	N6	N6	Ok	?	?	?	?	N6	N6	?	-	N6
	L	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	N6	?	-	N6

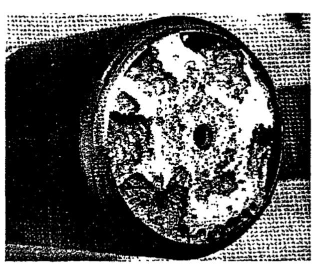
(1) المساحة النسبية بين المعدن الأول والثاني.

S = صغيرة، E = متساوية، L = كبيرة.

الرموز N6 = أحد المعادن الملتصقة سوف يتآكل.

? = غير محدد.

Ok = غير محتمل تآكل لأي من المعدنين عند الالتصاق، ولكن التلف يمكن أن يحدث لأسباب أخرى.



شكل (1/5) التآكل الجلفنى للألومنيوم فى غلاف من الصلب

اللحام يسبب البناء المجهري للمعدن (حجم الحبيبة) ليتغير قريباً من منطقة اللحام. في حالة عدم المعالجة الحرارية بعد اللحام فإن منطقة التأثير الحراري علــى طــول اللحام سوف تصبح آنودية أما بالنسبة للحام نفسه أو بالنسبة للمعدن الذى ظل بــارداً. في بعض الحالات يتآكل طرف اللحام لاختلاف البناء المجهري عن الصلب المجاور، الطرق والتشغيل الميكانيكي أو عمليات التشكيل يمكن أن تسبب تغير في حجم حبيبــة المعدن. منطقة الانتقال بين الحبيبات الكبيرة والصغيرة للصلب عادة تتآكل بمعدل أعلا من العادي، فمثلاً الأطراف المفلطحة على البارد (Upset Ends) لمواسير البئر (J-55) عادة تتآكل حيث التصاق الطرف المفلطح مع الجسم، هــذا يمكــن منعــه بالمعالجــة الحرارية لكل الطول بعد الفلطحة على البارد.

(2) الخدوش والاحتكاكات :

المساحة التى بها خدوش أو احتكاكات تعتبر آنودية. بالنسبة للأسطح الناعمة هــذا التأثير يلاحظ عادة على أعمدة كباس الــضخ أو المــص (Sucker Rods) وماســورة الحفر (Drill Pipe). تقنيات التداول الخاصة تستخدم لتقليل هذه المشكلة.

(3) اختلاف الانفعال أو التوتر (Differential Strain)

منطقة الانفعال أو التوتر مثل سن المطرقة أو العزم – الناتج عــن لــي أو فتــل الماسورة (Pipe Wrench) سوف يتآكل ذلك لأنه آنودي نسبة إلى المساحات المحيطــة التى لم يحدث لها انفعال أو توتر، لذلك فإنه يجب الحرص عند تــداول المواســير أو أعمدة كباس الضخ أو المص.

تأثير طبقات الأكسيد السطحية وجهد الهيدروجين الزائد :

قبل اكتمال الدراسة الخاصة بخواص المواد التى تؤثر على التآكل، فإنه سوف يتم تناول صفتين آخريتين، ولحسن الحظ فإن كليهما يعمل علـــى خفــض التآكـــل تحـــت الظروف المناسبة. الأولى وهى الطبقات السطحية المحققـــة للمناعـــة (Passivating). حيث في ظروف الأكسدة فإن بعض المواد تنتج طبقات سطحية التى تحولها إلى حالة المناعة أو إلى درجة نشاط أقل في مجال ملاصق معين. فمثلاً، يمكن ملاحظة عنـــد استعراض الجدول (1/1)، أن الألومنيوم له جهد إذابة مرتفـــع وأنـــه ســـوف يتآكـــل كضحية وذلك عند التصاقه مع معدن أسفل منه في التسلسل الجلفني (تسلسل الجهـــد) ولكن، قطعة الألومنيوم الغير متصلة الموضوعه في ماء نقي مهـــوا أو تربـــة عـــادة تتحمل التآكل بطريقة جيدة. الألومنيوم نشيط إلى حد أنه يكون وبسرعة طبقة ملتصقة بين أكسيد الألومنيوم على سطحه. بعض الأملاح مثل $CaCl_2$ في ماء البحر تعمل على إتلاف الطبقة ولكن سبائك الألومنيوم الخاصة مناسبة لمثل هذه الحالات.

مقاومة التآكل لأنابيب الصلب في الغلايات يمكن إعاقته بطبقات أكـــسيد الحديـــد الكثيفة المتكونة عند درجة الحرارة العالية بتفاعل الحديد مع الماء الخالي من الأملاح. مقاومة مماثلة للأحماض المؤكسدة يمكن تحقيقها بالاســـتقطاب الآنـــودي (ملحـــق أ). الحديد المسبوك مع 13% أكثر من الكروم يكون الصلب المقاوم ذو المناعة النـــسبية. سبائك الحديد الثلاثية من الحديد، الكروم (18%) النيكل (8%) هى كذلك أكثر مقاومة لعدوانية التآكل للمجال المؤكسد عند عدم وجود الهواء أو أى عوامل مؤكسدة أخـــرى وخاصة في حالة وجود الأملاح، فإن الصلب المقاوم يمكن أن يصبح نـــشطاً ويتآكـــل بمعدل عالي بسبب فقد طبقات الحماية فمثلاً :

معدلات التآكل للصلب المقاوم 8/18 فى 5% حامض كبريتيك عند 30م

فى حالة التشبع بالهواء	خالى من الهواء .
2 ملجرام/ ديسيمتر المربع/ اليوم	300 ملجرام/ ديسمتر المربع / اليوم

جهد المحلول للصلب المقاوم 8/18 مقابل قطب كالوميل القياسى فى مياه البحـــر ذات التدفق المفتوح هى قريباً من – 0.05 فولت. الصلب المقاوم النشط يكون ضعيف التهوية فى الماء، كما فى حالة أسفل ترسيبات الروبة، حيث يظهر جهود آنودية أكثـــر بما قيمته –0.05 وسوف يحدث له تآكل ثقبى.

ثانياً : لقد سبق توضيح أن المعادن فوق الهيدروجين فى التسلسل الجلفنى سـوف تتآكل وتحل محل الهيدروجين من المحلول. فمثلاً :

$Fe^{++} + H_2S$ -----> $FeS + H_2$

$Zn^{++} + 2HCl$ ----> $ZnCl_2 + Hz$

عند تآكل المعدن مع تصاعد الهيدروجين (الغاز) على أسطح الكاثود، فإنه يوجـد أدنى جهد محدد الذى يجب أن يحدث وذلك لاستبدال طبقة التغطية من الهيـدروجين. فى حالة عدم وجود جهد كافى لاستبدال الهيدروجين (Toplate out hydrogen) فـإن تفاعل التآكل سيتحقق عملياً. بعض الأسطح المعدنية تتطلب جهـد إضـافى ليرسـب الهيدروجين عليها. هذا الجهد الإضافى يسمى الجهد الزائد (Over voltage).

الجهد الزائد للهيدروجين يختلف بالنسبة لكل معدن. على البلاتين يكون مـنخفض جداً حوالى 0.09 فولت وعلى الزئبق يكون مرتفع 1.04 فولت، الجهد الزائد علـى الحديد 0.4 فولت. قيم الفولت يتم قياسها عند كثافات تيار منخفض جداً (أمبير/ وحدة المساحة).

حقيقة أن الحديد يتآكل بمعدل منخفض جداً فى الماء المتعـادل بـدون أكـسجين مذاب، يعود إلى الجهد الزائد للهيـدروجين (Over voltage of Hydrogen). الفولـت المؤثر للخلايا المحلية يكون بطيئاً حيث أن الهيدروجين ينتج عند معدل منخفض فقـط ويقل التآكل إلى أدناه. التآكل السريع والتقوب فى الحديد فى الماء الخالى من الهـواء يمكن أن ينتج من عوامل أخرى مثل نمو البكتريا المختزلة للبكتريات.

يزداد الجهد الزائد مع زيادة كثافة التيار. لذلك إذا كانت مساحة الكاثود صـغيرة مقارنة بمساحة الآنود، فإن كثافة التيار عليها ستكون كبيرة نسبياً، بما يسبب جهد زائد عالى للهيدروجين على مساحة الكاثود. عندما يكون هذا الحال، فإن تفاعل التآكل عند الآنود يتم إخماده. هذا التأثير هو جزء من أسباب لماذا أن المساحات النسبية للمعـادن الملتصقة تكون ذات أهمية كما هو موضح فى الجدول (1/2). فمثلاً، قطـع صـغيرة مـن النحاس (كاثود) ملتصقة مع قطع كبيرة من الحديد (آنود) سوف لا يعجل التآكل للحديد كثيراً.

فى حالة تآكل الحديد أو الصلب فى محلول حامضى قوى، فإن الجهد الزائد تكون مساعدته قليلة. قوة الدفع (الفولت) لالتصاق الآنود/ الكاثود فى مجال حامضى تكـون عالية حتى أن تصاعد الهيدروجين لا يوقف التيار. يتـصاعد الهيـدروجين بانتظـام والتآكل عند مساحات الآنود يتقدم بدون توقف. ولكن فى حالة إضافة مثبط التآكل من

أرزيثات الصوديوم (Na Arsenate) إلى الحامض، فإنه تتكون طبقة تغطية من معدن الزرنيخ على السطح الخارجى للصلب. الزرنيخ له جهد هيدروجينى عالى جداً. بالتالى، الطبقة الرقيقة من معدن الزرنيخ على سطح الصلب تثبط تصاعد الهيدروجين وبالتالى يحدث التآكل. فمركبات الزرنيخ لا تستخدم على نطاق كبير لتثبيط الأحماض المستخدمة فى تنمية آبار الزيت ذلك لأن الزرنيخ يسمم العامل الوسيط من البلاتين المستخدم فى معامل التكرير وكذلك لكونه سام.

خلايا التآكل الناتجة عن الاختلاف فى البيئة الملاصقة للقطب :

بعد أن تم مناقشة بعض الاعتبارات الهامة المتعلقة بتنشيط التآكل لاختلاف المعادن، فإن طبيعة وتركيز المواد المذابة أو العالقة فى الأليكتروليت هى ذات أهمية متساوية لتفهم ومقاومة عمليات التآكل.

بينما اختلافات المعدن عادة تحدد مكان الآنودات، فإن مكونات الإليكتروليت هى التى تحدد معدل وكثافة عدوانية التآكل. هذا واقع وحقيقة فعند غمر نوع واحد من المعدن مثل معدن الصلب فى الماء حتى فى حالة تجانس الصلب، فإن الاختلافات فى الاليكتروليت الملاصق لسطح المعدن يمكن أن يسبب تدرج فى الجهد وبذا توجد مساحات تآكل موضعىوذلك لأسباب ثلاثة رئيسية هى:

1- اختلاف فى تركيز الأكسجين :

عند تدفق الماء المحتوى على أكسجين مذاب خلال ماسورة من الصلب أو أن يوجد الماء المهوا فى خزان من الصلب، فإن تركيز الأكسجين عند كل أجزاء الصلب ليس بدرجة تركيز واحدة. أى نوع من الرواسب مثل الحمأة أو الصدأ يمكن أن يغطى جزء من المعدن ويقلل الأكسجين المتاح لهذه المساحة. الجزء من سطح الصلب المعرض للماء المحتوى على تركيزات منخفضة من الأكسجين يصبح آنودى ويتآكل بمعدل أسرع من الأجزاء الأخرى من سطح المعدن الملتصقة بتركيزات أعلا من الأكسجين. التآكل أسفل طبقة الصدأ (الدرنات) كما هو موضح فى الشكل (1/6) التى تصور هذا التأثير. أولاً تبدأ نقطة على سطح المعدن فى التآكل حيث تذهب أيونات الحديد إلى المحلول. تتحرك أيونات Fe^{++} نحو الماء المهوا حيث ترسب كصدأ. مع تراكم ترسيبات الصدأ، فإن مساحة الصلب أسفلها يتم تغطيتها وتصبح محرومة من الأكسجين أى تصبح لا هوائية. يستمر تآكل النقطة وتعجيل هذا التآكل نتيجة التدرج فى الجهد الكهربى ما

بين الصلب حيث ينمو الثقب والمنطقة المحيطة الغير مغطاة. الصلب المثقوب يكون آنــودى بينما الصلب المهوا حوله يكون كاثودى. توفر الأكسجين ينشط التفاعل الكاثودى.

$H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2e \longrightarrow 2OH^- \longrightarrow$ اختزال

بينما عند الآنود

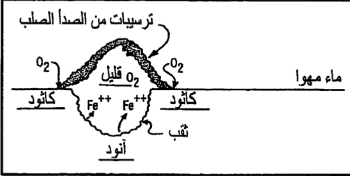
$Fe^0 \longrightarrow Fe^{++} + 2e$ (أكسيد كهروكيميائيه)

وكذلك

$Fe^{++} + 2OH^- \longrightarrow (OH)_2$

$2Fe(OH)_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 \cdot (H_2O)_2$ (صدأ)

(أكسدة كيماوية)



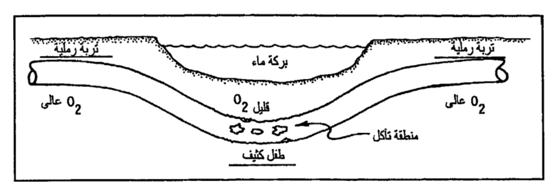
شكل (1/6) ترسيبات الصدأ يسبب تكون خلية اختلاف تركيز الأكسجين

لاحظ أن الإيدروكسيد OH^- المتكون عند الكاثود يمكن أن يساعد فــى ترســيب الصدأ عند الآنودات المجاورة.

التفاعل الأخير (ترسيب الصدأ) يحدث على مسافة صغيرة من سطح المعدن حيث أيونات Fe^{++} تلتصق بأيونات OH^- والأكسجين. هجرة أيونات الحديــد بعيــداً عــن الاقتراب من الثقب تقلل الاستقطاب الآنودى وبذا يستمر زيادة عمق الثقــب. أنــواع أخرى من الرواسب مثل الشوائب والرمال، عفن البكتريا أو القشور المعدنية المترسبة (scales) يمكن كذلك أن تسبب وجــود خلايــا اخــتلاف الأكــسجين وهــذه تــسمى (Differential oxygen cells).

خلايا اختلاف الأكسجين الأكبر فى الحجم والتى تسمى كــذلك خلايــا اخــتلاف التهوية (Differential Aeration cells) موضحة فــى الــشكل (1/7). حيــث جــزء الماسورة المعرض للطفلة الكثيفة حيث الأكسجين قليل أو منعدم يصبح آنود بالنــسبة

لأسطح الماسورة الأخرى المعرضة للتربة المفككة المهواه. المساحة الآنودية هي صغيرة نسبياً والمساحة الكاثودية كبيرة. المساحة الآنودية الصغيرة تسمى النقطة الساخنة كهربياً (Electrical Hot Spot).



شكل (1/7) تآكل فى خط المواسير بسبب اختلاف التهوية

2- اختلاف تركيز الإليكتروليت :

عند غمر قطعتين من معدن فى محاليل ملحية ذات تركيزات مختلفة، فإن القطعة المغمورة فى المحلول الأكثر تركيزاً سوف تكون الآنود. هذا التأثير هام عملياً لتنشيط التآكل الموضعى فى خلايا اختلاف التهوية.

3- اختلاف درجة الحرارة:

المنطقة حيث درجة الحرارة الأعلى تكون آنودية مقارنة للمنطقة الأبرد وذلك فى حالة عدم وجود تأثير قوى آخر.

عوامل العدوانية فى البيئة

(Corrosive agents In the Environment)

فى عمليات إنتاج البترول، عوامل البيئة التى تعمل على إحداث التآكل عبارة عن ثلاث غازات وهى :

* الأكسجين (O_2)
* كبرتيد الهيدروجين (H_2S)
* ثانى أكسيد الكربون (CO_2)

سيتم مناقشة تأثير هذه الغازات على الصلب الكربونى المعرض للماء المالح الذى يكون فى حالة اتزان مع الغاز المحتوى على واحد أو أكثر من تلك الغازات العدوانية الثلاث.

1- الأكسجين :

يحدث التآكل بفعل الأكسجين عموماً فى المعدات السطحية مثل نظم حقن المياه حيث يتم تداول ا لمياه المهواه، فيحدث تلوث بالهواء للمياه المنتجة. الحالة الأخيرة هى السائدة ويمكنها إحداث فقد سريع فى المعدات وذلك فى حالة أن تكون المياه المنتجة حامضية (Sour) بفعل احتوائها على H_2S. لهذا السبب فإنه يجب الإبعاد الكلى للهواء من نظم المياه حيث يوجد كبريتيد الهيدروجين (H_2S).

الأكسجين ينشط التآكل بطريقتين:

العامل الأول كونه مزيل قوى للاستقطاب الكاثودى بمعنى إعاقة الاستقطاب الكاثودى. عند وجود مادة حامضية مثل H_2S أو CO_2 مع عدم وجود الأكسجين فإن غاز الهيدروجين يميل إلى تكوين طبقة على الكاثود من خلال تأين H_2S

H_2S -----> H^+ + SH^- (أ)

اختزال كاثودى

$2H^+$ + 2e ------> $2H^o$ ---->H_2 (ب)

تراكم غاز الهيدروجين يعمل على تكوين طبقة على الكاثود وبالتالى يحدث استقطاب للكاثود، ولكن فى حالة وجود الأكسجين فإن الخطوة التالية فى المعادلة (ب) لا تحدث وبدلاً منها

$2H^o$ + ½ O_2 ----> H_2O (جـ)

لذلك فإن التفاعل الكاثودى وحدوث التآكل ينشط لأن استقطاب الهيدروجين عند أدناه فى حالة وجود الأكسجين.

العامل الثانى: الأكسجين يزيل الحديد بترسيب أكاسيد الحديد عند الآنود وبذا يمنع الاستقطاب الآنودى بأيونات Fe^{++}.

(2) كبريتيد الهيدروجين H_2S :

كبريتيد الهيدروجين حامض ضعيف ويوجد بكثرة فى عمليات إنتاج البترول. الحموضة أو قدرة H_2S على إنتاج أيون H^+ موضحة بثابت تأينه الأول (First Ionization constant) .

$$K_1 = \frac{[H^+][SH^-]}{[H_2S]} = 5.7 \cdot 10^{-8}$$

فى الحالات المثالية، كل جزئ من (H_2S) فى المحلول ينتج فقط 5.7×10^{-8} جزئيــات من أيون H^+. ولكن نظراً لأن H^+ يزال بتفاعل الاختزال الكاثودى، فإنه يتكون أكثر ويظهــر غاز الهيدروجين بسرعة على الصلب المعرض للماء الخالى من الهواء والمحتوى على H_2S فى المعادلة (ب) السابقة توضيحها يلى ذلك تحلل الآن أيون `HS إلــى ``S ، $H^+$. أيــون ``S يتفاعل مع الحديد لتكوين FeS الأسود كناتج تآكل موجود عادة.

(3) ثانى أكسيد الكربون :

ثانى أكسيد الكربون هو حامض أقوى من H_2S. وهو يتحد مــع ا لمــاء ليكــون حامض الكربونيك.

$$CO_2 + H_2O \text{ -----> } H_2CO_3$$

والذى يتآين أولاً إلى

$$H_2CO_3 \text{ -----> } H^+ + HCO_3$$

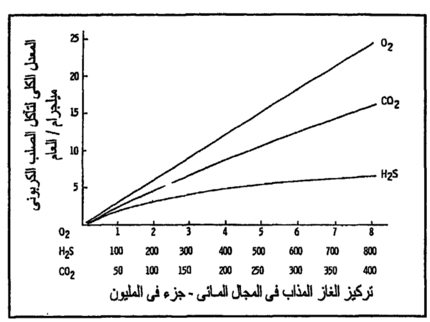
حيث ثابت التآين له هو

$$K_1 = 4.31 \times 10^{-2}$$

أكبر مؤثر لثانى أكسيد الكربون فى تآكل معدات الإنتاج هــو زيــادة الحموضــة بواسطة إنتاج أيون H^+. ناتج التآكل الموجود عادة هو $FeCO_3$ (الــسيديريت Sedirite) والذى يوجد عادة فى مواسير آبار الغاز.

العدوانية النسبية لكل من H_2S , CO_2 , O_2 :

الشكل (1/8) يوضح مقارنة لكل من H_2S , CO_2 , O_2 بالنسبة للقدرة على التآكل لكــل منهم تحت ظروف معينة. القدرة على التآكل أو العدوانية تعرف هنا بمقياس التلف الناتج عن التآكل عند تركيزات معينة لعامل العدوانية (التآكل) فى الماء. البيانات الموضحة فى الــشكل (1/8) مبنية على معدلات التآكل مقاسه بتعريض الصلب الكربونى فى شكل قطــع اختبــار لمحاليل مائية محتوية على تركيزات مختلفة (جزء فى المليون) لكل غاز على حدة. لاحظ أن واحد جزء فى المليون من O_2 تكون عدوانية مثل 100 جزء فى المليــون مــن H_2S أو 50 جزء فى المليون من CO_2 تحت ظروف الاختبار .عند 8 جزء فى المليون مــن O_2 تكــون العدوانية حوالى 5 أضعاف لتركيز 800 جزء فى المليون H_2S. لاحظ أن معــدلات التآكــل تتناسب طردياً مع تركيزات O_2، بينما تزداد معدلات التآكل أو تقل بالنسبة لمحتوى الماء من الأكسجين عندما يكون الأكسجين هو عامل التآكل الوحيد الموجود.



شكل (1/8) مقارنة العدوانية لثلاث غازات فى محاليل الماء (عند 25 ْم، التعرض 5-7 يوم ، 2-5 جرام/لتر من كلوريد الصوديوم، HCO_3 القلوية أقل من 50 ملجرام/لتر)

هذه المعلومات توفر الفكرة العامة لمقارنة القدرة على إحداث التآكل للغازات الثلاثة الهامة على أسطح الصلب النظيف وعند درجة الحرارة المنخفضة. البيانات للأكسجين مرتبطة جيداً مع معدلات التآكل الكلية مقاسه فى الموقع على الصلب المعرض لمياه مالحة عند درجات الحرارة المنخفضة وحيث المياه المالحة متعادلة ومهواه. معدلات التآكل عند الثقوب (pits) يمكن أن تكون أكبر بعدة مرات شكل (1/6). بالنسبة لكبريتيد الهيدروجين H_2S فإن توقيع البيانات المعملية إلى الحقلية هى كذلك جيدة. عدوانية CO_2 عند درجات الحرارة المنخفضة متغيرة إلى حد ما ويمكن أن تقع فوق أو أسفل ذلك بالنسبة للكبريتيد الهيدروجين، وذلك طبقاً لقلوية البيكربونات ($HCO^{`}_3$) فى الماء إلى حدّ كبير. بيانات CO_2 الموضحة هنا هى للمياه ذات المحتوى من قلوية البيكربونات أقل من 50 ملجرام/لتر. عندما تكون القلوية عدة مئات من الملجرام/لتر فإن عدوانية CO_2 عند درجات الحرارة المنخفضة تكون عادة أقل من ذلك الموضح هنا. فى الآبار الساخنة ذات الضغط المرتفع المنتجة للماء والغاز الغنى بثانى أكسيد الكربون، يمكن أن يكون التآكل حاد كذلك.

يجب ملاحظة أن الجمع بين O_2، أى من H_2S أو CO_2 يمكن أن يسبب التآكل السريع، حتى فى درجات الحرارة المنخفضة. حتى أن القليل جداً من O_2 أقل من 0.1 جزء فى المليون) يعمل كاستقطاب كاثودى بما يسبب استمرار تفاعل التآكل بمعدل عالى.

تأثير الأملاح المذابة :

تعتبر المياه المالحة أكثر قدرة على أحداث التآكل مقارنة بالمياه ذات الملوحة المنخفضة أو المياه العذبة. ولكن الأملاح المذابة المتعادلة مثل كلوريد الصوديوم (NaCl) أو كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) ليست هى عوامل التآكل الأولية. فهذه الأملاح تعمل على تعجيل وتنشيط التآكل فى حالة وجود واحد أو أكثر من عوالم التآكل والتى هى (H_2S , CO_2 , O_2). تأثير الأملاح هو أساسا لخفض المقاومة الكهربية للاليكتروليت (R_2 فى الشكل 1/3). مع خفض مقاومة البطارية فإنه يزداد تدفق التيار عند فرق جهد معطى ما بين الأنود والكاثود حيث

$$I = \frac{E}{R}$$

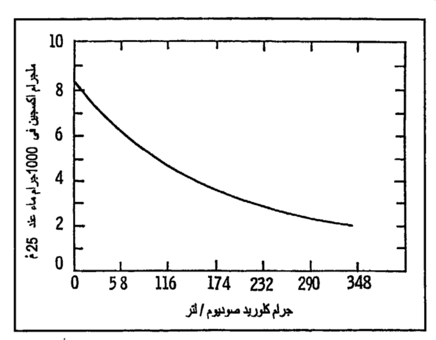
إذا كانت E ثابتة، عندئذ فإن I تتناسب عكسياً مع R، I (الماء المالح) أكبر من I (للماء العذب).

فى التربة أو الماء حيث المقاومة ضعيفة، فإن سريان التيار لا يكون أكبر فقط ولكن زيادة المسافة بين المساحات الآنودية والكاثودية يمكن أن يؤثر كل منهما على الآخر وتعجيل التآكل الكلى.

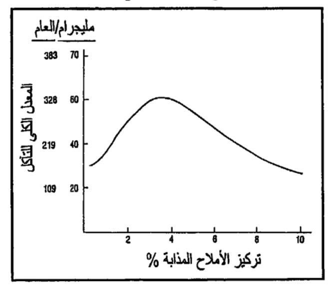
الأملاح المذابة لها تأثيرات أخرى كذلك والتى يمكن أن تكون جيدة أو رديئة. بينما هى تزيد التوصيل الكهربى للإليكتروليت، إلا أن الأملاح تقلل من إذابة الغازات المذابة مثل O_2 كما هو موضح فى الشكل (1/9). الشكل (1/10) يوضح معدلات التآكل التى تم ملاحظتها على قطع الاختبار من الصلب المنخفض الكربون (Low carbon) التى تم تعريضها لمدة 16 يوم للماء المشبع بالأكسجين المحتوى على الملح المتعادل (غير حامض). أقصى تآكل حدث كان عند 3-4% الوزن للملح، والذى هو المجال الحقيقى للأملاح المذابة فى مياه البحر.

أملاح الكلور تعمل على إتلاف طبقة المناعة لبعض أنواع الصلب المقاوم ويمكن أن تسبب التشقق السريع عند إجهاد الشد وعند درجة حرارة أعلا من حوالى 80°م. هذا التأثير يسمى تشقق الكلور بإجهاد الشد (Chloride stress cracking). صلب الكروم بمحتوى من

الكروم أقل من 22% يصبح أقل مقاومة للتآكل بفعل H_2S , CO_2 مع زيادة تركيزات كلوريد الصوديوم.



شكل (1/9) إذابة الأكسجين فى محاليل مائية لكلوريد الصوديوم فى حالة أتزان مع الهواء



(شكل 1/10) معدل التآكل للصلب الكربونى فى المياه المالحة

(80% كلوريد صوديوم، 20% كلوريد كالسيوم، pH 6.5 – 7 ، عند 22 – 25°م

تاثير الكائنات الحية الدقيقة : (Effects of Microorganisms)

تراكمات العفن البكتيرى، الفطريات والخمائر يساعد فى تآكل معدات الصلب. فى عمليات إنتاج زيت البترول، يكون معظم التآكل الناتج عن البكتريا هو كبريتيد الهيدروجين الناتج عن أداء حيوى لكائنات حية دقيقة. ومن بين أكثر الكائنات إنتاجاً لهذا الكبريتيد هى سلالة (Desulfovibrio) وهى الكائنات المختزلة للكبريتات، حيث تستخدم أيون SO''_4 من المياه المالحة مكونة H_2S. إلى حد ما يحدث تآكل الكبريتيد (Sulfide corrosion) نتيجة إنتاج H_2S بسلالات (Genus clostridia) من مركبات الكبريت العضوية. وهذه ذات خاصية ثيرموفيليك (Thermophilic) أى تفضل درجة الحرارة العالية وتوجد فى حمأة القاع فى سخانات المعالجة (Heater treaters) التى تعمل عند حوالى 75°م.

وبطريقة غير مباشرة فإن تراكمات البكتريا أو العفن بترسيبات كبيرة يمكن أن ينشط التآكل وذلك بإيجاد إختلاف فى تركيز الأكسجين على الصلب فى المياه المهواه.

التيارات الكهربية الشاردة والمستحثة (Stray and induced currents) فى الخلايا الجلفنية أو التآكل الفورى التى تم مناقشتها، تسرى الطاقة الكهربية بين الآنودات والكاثودات خلال كلاً من المعدن (بطريق الالكترونات) و الاليكتروليت (بطريق الأيونات المذابة). يتولد التيار الكهربى فى المكان عندما يحدث تغير كيماوى لذرات المعدن المتآكل من ذرات متعادلة كهربياً إلى أيونات بدون الكترونات. سريان التيار خلال البطارية يتناسب مع معدل فقد المعدن. العكس كذلك يمكن ذكره وهو أن معدل التآكل يتناسب مع سريان التيار.

تآكل المعدة المعدنية يمكن كذلك أن يكون بسبب التيارات الكهربية الناتجة من مصدر خارجى وهذه المصادر الثلاث التقليدية للتيارات الخارجية هى :

1. توصيل أرضى للمعدة الكهربية مثل محرك وحدة الضخ المتصلة أرضى (Grounded) بقيسون البئر.
2. التيار الداخل على خط المواسير حيث تمر قريباً من أو أسفل خطوط كهربية لنقل الطاقة ذات الجهد العالى.
3. التيار السارى الداخل بين منشأ غير محمى مثل خط المواسير أو القيسون ومعدة قريبة تحت الحماية الكاثودية. هذا التأثير يسمى تداخل الحماية الكاثودية.

عند إنتاج التيار الكهربى من مصدر خارجى فإن التآكل يسمى التآكل الإليكتروليتى (Electrolytic Attack) معدل التآكل أو معدل الفقد فى المعدن يتوقف على كمية سريان التيار. ولكن، عدد من التفاعلات الكيماوية الأخرى يحدث عند الآنود بالإضافة إلى تحول المعدن نحو المحلول. وهذا يحدث عندما تكون كثافة التيار (الأمبير على وحدة مساحة الآنود) مرتفعة جداً.

التفاعل الكهروكيميائى الأنودى (الأكسدة) الذى يحدث أثناء التآكل الكهروكيميائى هو معقد إلى حد ما ولكن تدفقات الالكترونات بعيداً عن الآنود ثم العودة ثانياً إلى المعدن، مازالت تحدث كما فى حالة خلايا التآكل الفورية. يعتبر التيار الكهربى التقليدى أنه يتدفق (يسرى) فى اتجاه معاكس لحركة الالكترونات. لذلك فإن عملية التآكل الكهروكيميائى يمكن تناوله فى حالة إهمال التفاعل الكيماوى الأنودى مع شرح التآكل عن طريق سريان التيار. ببساطة، يحدث التآكل عند ترك التيار الكهربى للمعدن ويدخل إلى الأرض أو إلى الإليكتروليت مثل ماء البحر.

التيارات الكهربية الشاردة قد تدخل إلى المعدن من وصلة أرضية أو من تيارات داخلة (Induced currents). يحدث التآكل بفعل التيارات الكهربية الشاردة فقط عند ترك التيار للمنشأ (أى خروجه من المنشأ المعدنى) ليدخل إلى الأرض أو إلى الإليكتروليت. ولكن قد يحدث أداء لخلية موضعية فى أى مكان على طول سطح المعدن وهذا التلف يكون إضافة إلى تأثير التيار الشارد.

فقد المعدن بسبب صرف التيار المتغير (AC) يكون عموما حوالى 1% من هذه الكمية. ولكن التلف قد يكون حاداً إذا كانت مساحة صرف التيار المتغير صغيرة. يلاحظ تآكل التيار الشارد بالثقوب العميقة المعزولة ذات الأجناب الناعمة بما يشبه النقرة فى المعدن. هذه النقر أو الثقوب تكون عادة منتظمة فى صف على طول الجانب السفلى للخزانات أو الأوعية الأخرى التى ترتكز على سطح الأرض. نظام مشابه لشكل نظام صفوف الثقوب يلاحظ أحيانا على طول جانب واحد للسطح الخارجى لقيسون البئر حيث التيار الذى يسرى إلى أسفل البئر يخرج ليدخل ثانياً إلى الأرض (انظر معلومات إضافية فى الفصل 8).

الخلاصة والتوصيات :

فى هذا الفصل تم تناول المعلومات الأساسية اللازمة الطبيعية الكيماوية والكهربية للتآكل. لذلك فإنه سيتم التركيز على طرق الحماية مع توضيح أن كل مبنى على القواعد الأساسية التى تم تغطيتها. بعض نظريات التآكل موضح فى الملحق (أ1).

الفصل الثانى

أساسيات طرق الحماية من التآكل

Fundamentals of corrosion prevention methods

مقدمة :

فى هذا الفصل سيتم تناول التقنيات المناسبة المستخدمة لإبطاء عملية التآكل أو إيقافها. معنى إبطاء التآكل تستخدم عادة نظراً لأنه من الناحية العملية يكون من المستحيل وعادة ليس بالضرورة الإيقاف الكلى لعدوانية التآكل. الهدف الرئيسى لهندسة التآكل هو ببساطة حماية المعدة أثناء فترة عملها الافتراضية (Useful life) حيث يكون ذلك هو أفضل طريقة ممكنة اقتصادياً.

الآتى بيان للطرق الممكنة المستخدمة فى الحد من التآكل فى مجال الصناعات البترولية كالآتى:

- مثبطات التآكل (Corrosion inhibitors)
- التبطين بالبلاستك والمونة الأسمنتية.
- التغطية الخارجية للمواسير.
- جميع المواسير والخزانات تكون من البلاستيك
- سبائك خاصة.
- معالجات كيماوية خاصة وإزالة المواد الصلبة.
- إزالة الغازات العدوانية.
- خفض درجة الحرارة والسرعة.
- إزالة المياه (Dehydration).

كل من هذه الطرق سيتم تناوله بالتفصيل. وكما سيتم مناقشة مختصره عن تقنيات الحماية الخاصة بعمليات التآكل.

1- الحواجز السطحية : (Surface Barriers)

تفاعلات سطح المعدن التى تحدث أثناء التآكل يمكن خفضها إذا تم تغطية المعدن بشيء ما عن طريق (1) يزيد من المقاومة الكهربية عند التلامس السطحى بين المعدن والاليكتروليت (2) زيادة الاستقطاب الآنودى أو الكاثودى أو كليهما (3) زيادة الجهد للهيدروجين (Over voltage) (4) خفض تحرك الآيونات من الاليكتوليت إلى المعدن.

يوجد نوعين أساسين من الحواجز السطحية للمعدن يمكن استخدامهم وهم:

1. مثبطات التآكل الكيماوية (Chemical Inhibitors) التى تغطى السطح بالادمصاص من محلول أو بالتشتت (Dispersion) فى سائل خامل.
2. التغطية الميكانيكية لطبقة الحماية.

الحواجز على المعدن يمكن رؤيتها كالآتى :

طبقات مثبط ممتزه	طبقات حماية
666666666	////////////////
سطح المعدن	سطح المعدن

بينما يوجد تشابه بالطريقة التى بها طبقات الحماية بالتغطية وبالمثبطات والتى تتداخل وتبطئ التآكل، إلا أنه توجد اختلافات كبيرة بينهم. طبقات التغطية هى عادة بلمرات عضوية أو طبقات معدنية وهى أكبر فى السمك من طبقات المثبط. كليهما يفصل المعدن عن الإليكتروليت ويقلل من سريان التيار الكهربى وعموماً فهى تؤثر على عمليات سطح المعدن ولكنها قليلة أو عديمة التأثير نحو تغيير المجال المائى الملتصق بالمعدن.

2- إزالة العوامل العدوانية وخفض الحرارة والسرعة :

لقد سبق توضيح أن معظم التآكل فى مجال البترول وتصنيعه يكون بسبب وجود O_2 ، H_2S أو CO_2. فى حالة اتخاذ خطوات لإزالة هذه الغازات، فإن التآكل الذى تسببه يمكن إيقاف حدوثه (طرق إزالة هذه الغازات سيتم تناولها فى الفصل 6). عدوانية هذه الغازات فى محلول الماء ترجع إلى تفاعلاتها الكهروكيمائية مع المعدن. مثل كل التفاعلات الكيماوية، يزداد معدل التفاعل بالحرارة. خفض درجة الحرارة يكون بذلك وسيلة قيمة لتبطئ التآكل.

المعدل الذى تصل به الغازات العدوانية إلى سطح المعدن، هى كذلك التى تـوفر أقصى معدل للتفاعل. لذلك، فإن سرعة الإليكتروليت بالنسبة للمعدن هى عامـل هـام ويمكن استخدامها أحياناً للحماية من التآكل. ولكن التأثير ليس بسيطاً ذلك لأن السرعة عند السطح حيث يحدث التآكل ليست مثل سرعة الكتلة.

بالإضافة إلى تأثير معدل انتقال عوامل التآكل إلى المعدن، تصبح السرعة هامـة عند وجود حبيبات صلبة. تصادم المواد الصلبة فى تيارات متحركة تـصقل وتجلـى سطح المعدن وتجعله أكثر نشاطاً كما أنه يمكن أن يزيل بالاحتكـاك جـسيمات مـن المعدن.

المعالجات الكيماوية الخاصة وإزالة المواد الصلبة :

تحت هذا البند تكون المعالجات لمنع نمو وتكاثر البكتريا، واستخدام مواد التعادل (Neutralizers) لخفض الحموضة، مثبطات ترسـيبات القـشور (Scale Inhibitors)، وعمليات إزالة الترسيبات للمواد الصلبة العالقة. كل هذه عبارة عن تقنيات تغير البيئة الملاصقة.

المبيدات الحيوية تعمل على تأخير نمو وتراكم البكتريا تلك التى تحـدث التآكـل بفعل خلال اختلاف التهوية وتوليد H_2S.

ترسيب وترشيح الماء يفيد فى عملية الحماية من التآكل لمنع الترسـيب المـسبب لعمل الخلايا المحلية.

المعالجة الكيماوية المسببة لتثبيط الترسيبات القشرية للمواد الصلبة يمكن كذلك أن تساعد فى المحافظة على استمرار نظافة الأسطح وعدم حدوث تآكل ثقبى موضعى.

تنظيف الأنابيب بالكشط هو وسيلة ميكانيكية لتنظيف المعدن وعادة تستخدم مـع الطرق السابق ذكرها وذلك للحد من ترسيبات البكتريا والمواد الصلبة.

وفى بعض الحالات، يمكن استخدام كيماويات التعادل مثل الامونيا أو الصودا آس لمنع حدوث التآكل بواسطة CO_2 (حامض الكربونيك) أو بعادم الأحماض من عمليات تنمية وتحسين إنتاجية الآبار.

الحماية الكاثودية: (Cathodic protection)

الحماية الكاثودية هى الطريقة التى يتم بها تحويل معدن المعدة المطلوب حمايتها ليكون كله كاثود. فى الواقع فإن الحماية الكاثودية تجعل الصلب يسلك كما لو كان معدناً ثميناً. يتم ذلك بتغيير (Reversing) أو إلغاء تيار التآكل وذلك بالتغذية بتيار أقوى من مصدر خارجى.

السبائك الخاصة :

الصلب يكون مع معادن أخرى مثل الكروم والنيكل ليصبح أكثر ندرة أو أقل حساسية للعدوانية فى مجالات بيئية معينة. تتكون طبقة حماية، وهى طبقة من الأكسيد المعقد، التى تتكون على هذه السبائك عند وجود الأكسجين.

القياسات الكهروكيمائية فى الظروف المعملية المحكمة توضح الخواص الكهربية (مثل جهود نصف الخلية مقابل القطب القياسى) لمقاومة السبائك للتآكل المعرضة للأحماض أو أى مجال عدوانى. مخططات الاستقطاب هذه تشبه إلى حد كبير حيود الجهد للصلب العادى تحت تأثير الحماية الأنودية (الملحق أ). تتم المقارنة هنا ببساطة بما يعنى حدوث شيء ما يغير الخواص الكهروكيميائية للمعدن بما يقلل من استعداده للتآكل.

المواد الغير معدنية :

خطوط التدفق ذات الضغط المنخفض وكذلك الخزانات تصنع عادة من مواد البلاستك. البولى أيستر المسلح بالصوف الزجاجى هو النوع المفضل. فى استخدامات المياه ذات درجة الحرارة المنخفضة يستخدم البلاستك من نوع البى فى سى مع مادة ملئ من الزجاج أو الطفلة وكذلك (Acrylonitrile – butadiene styrene) (ABS). وإن كانت هذه المواد لا تتآكل كهروكيميائياً كما فى حالة الصلب ولكنها يمكن أن تتلف. مواد البلاستك من البى فى سى والبولى بروبيلين والبولى أيستر ومن الأيبوكسيات يحدث لها تحلل بالأشعة فوق البنفسجية بما يتطلب حمايتها بعدم التعرض لفترة طويلة لأشعة الشمس. كذلك فإن الحرارة عند درجة حرارة حوالى 80°م تحدث تلف ولكن تم استحداث أنواع من البلاستك ذات مقاومة للحرارة وكذلك المواد المركبة من طبقات (Laminate). تغطية الصلب بمواد السيراميك أو بالمواد الزجاجية تستخدم فى حالات

معينة. مكابس السيراميك تستخدم فى الطلمبات المستخدمة فى المياه العدوانية. زاد استخدام مواد السيراميك فى المجالات شديدة العدوانية وعند ارتفاع درجات الحرارة.

إزالة المياه (نزع المياه) Dehydration

عادة يتم إزالة الماء من خطوط المواسير الناقلة للغاز وذلك لمنع تكثيف الماء السائل على أسطح المعدن. عند عدم وجود مجال لسائل مائى، فإن H_2S , CO_2 أو O_2 الجاف لا يحدث تآكل فى الصلب عند درجات حرارة أقل من 20°م. إزالة المياه هو الدفاع الرئيسى ضد التآكل فى خطوط نقل الغاز فى عمليات حقن CO_2 لزيادة استعادة الزيت.

الفصل الثالث

المثبطات الكيماوية

(Chemical Inhibitors)

1ـ مقدمة :

لقد وصفت المثبطات الكيماوية بأنها خط الدفاع الأول ضد التآكل فى صناعة البترول. أى شخص يعمل فى مجال التآكل فى عمليات الإنتاج يجب أن يكون لديه تفهم كامل للكيماويات، وكيفية استخدامها وما هو المتوقع منها.

2- طبيعة مثبطات التآكل :

تكنولوجيا المثبطات هى عموماً فن. يمكن عمل عموميات بسيطة عن المواد وكيفية عملها ولكن هذه العموميات التى سوف يتم ذكرها تفيد فى كشف القليل عن سر المثبطات وتساعد فى تفهمها.

أ- المثبطات هى الكيماويات التى تغطى أو تكون طبقة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على سطح المعدن لحمايته من البيئة الملاصقة له.

ب- المثبطات تمتز بسطح المعدن من المحلول أو من الردغة (Dispersion) وبعضها يتم استخدامه مباشرة كطبقة تغطية.

جـ - المثبطات عموماً يمكن أن تكون:

- نشطة (تتفاعل كيماويا مع المعدن أو المجال البيئى الملاصق أو
- مكونه طبقة بالادمصاص.

د- طبقة الحماية تبطئ التآكل بالآتى :

- زيادة الاستقطاب الآنودى أو الكاثودى أو كليهما.
- خفض حركة الأيونات نحو سطح المعدن.
- زيادة المقاومة الكهربية على أسطح التقابل للمعدن والإليكتروليت.
- زيادة الجهد الزائد للهيدروجين.

فرضيات نظرية الأداء المثبط، عادة تنقسم المركبات كمثبطات أنودية أو مثبطات كاثودية. هذه التفرقة مبنية على اختبارات معملية التى تقيس تأثيرات الاستقطاب الآنودى والكاثودى فى ظروف محكمة.

3- تقسيم المثبطات :

لمعرفة طبيعة وأداء كيماويات التثبيط، يمكن تقسيمها كالآتى :

- غير عضوية.
- عضوية.
- آن أيونية.
- كات أيونية.

المركبات الغير عضوية هى أساساً من مصادر معدنية وعادة لا تحتوى على الكربون فى بنائها. المثبطات العضوية تحتوى على الكربون فى شكل تسلسل (- C-C-) فى مجموعات لجزئياتها وعادة مصدرها نباتى أو حيوانى.

1- الغير عضوية :

المثبطات الغير عضوية هى عادة أملاح بللورية مثل كرومات الصوديوم (Sodium chromate). فى المحلول المائى، هذه الأملاح تنفصل مكونه كاتايون الصوديوم موجب الشحنة (Na^+) مثل أن أيون الكرومات سالبة الشحنة (CrO_4^{--}). السليكات (SiO_3^{--}) الفوسفات (PO_4^{--})، المولبديت (MoO_4^{--}). الآن أيون السالب لهذه المركبات هو فقط المفيد فى خفض تآكل المعدن. لذلك فإن هذه المنتجات تصنف كمثبطات آن أيونية غير عضوية.

عند استخدام الزنك بدلاً من الصوديوم فإن كاتأيون الزنك (Zn^{++}) يكون مفيداً والمركبات يمكن أن تسمى المثبطات الغير عضوية ذات الشحنة المختلطة. الاستخدام الرئيسى للمثبطات الغير عضوية الآن أيونية وكذلك المثبطات ذات الشحنة المختلطة هو فى مياه التبريد.

2- المثبطات العضوية الآن ايونية :

هذه المثبطات مثل صوديوم سلفونيت (Na Sulphonates) وكذلك صوديوم ميتاترای بولی فوسفيت (MBT) تستخدم فى مياه التبريد وكمحاليل ضد التجمد (Antifreeze). يقع ضمن هذه المجموعة صوديوم فوسفونيت (Sodium phophonates)

وهو مفيد فى تحضير مثبطات مياه التبريد لتساعد فى كل من مقاومة التآكـل ومنـع ترسيبات القشور المعدنية (Scales).

3- مركبات المثبطات العضوية الكاتيونية :

وهذه المركبات فى الحالة المركزة تكون سوائل زيتيـة أو مـواد صـلبة مثـل الشمعية. الأجزاء النشطة فيها هى عموماً سلاسـل الكربـون الهيـدروجين الكبيـرة (الهيدروكاربون) أو فى شكل حلقات (Rings) مع وجود مجموعات نيتروجين الأمـين الموجبة الشحنة فى أحد الأطراف. يمكن توضيح بناء الأمين كالآتى :

رباعى	ثلاثى	ثانوية	أولية
$[R_4N]^+$	R_3-N	R_2- NH	R – NH_2

حيث R تمثل أجزاء الهيدروكربون للجزئيات. فى الماء أو الأحماض تأخذ نهاية مجموعات الأمين الأولى والثانية والثلاثية الرباعية هيدروجين إضـافى (H^+) الـذى يعطيها شحنة موجبة أو كاتأيونية. عادة يوجد عدد 2 أمين نيتـروجين واحـدة أوليـة وواحدة ثانوية، موجود عند نهاية مجموعة R الطويلة.



مجموعة الأمين القطبية سلسة الهيدروكابون الزيتية (R)

الجزئيات غير متوازية أو غير متماثلة حيث جزء منها يذوب فى الزيت وهو غير محب للماء (Hydrophobic) والأخر قطبى أو أيونى أى محب للمـاء (hydrophilic) نظراً لأن جزء واحد من جزئيات المثبط هو المحبه للماء فإنه يوصف بأنه شبه أيونى (Semipolar).

مجموعات الأمين القطبية تمتز على المعدن وجزء الهيدروكاربون يكون سطح من الزيت طارد للماء. بسبب شكلها الجزيئى (عدم التماثل)، فإن هذه المواد تعمل كمـواد جذب سطحى (Surfactants) ويمكن أن تثبت المستحلبات من الزيت والماء.

الأمينات ذات التسلسل الطويل التى تم شرحها هى المكون النـشط فـى معظـم مكونات مثبطات حقول البترول. المثبطات هى خليط متعدد المكونات توفره شـركات الخدمات الكيماوية فى شكل جاهز للاستخدام.

3- تأثير الخاصية الأيونية على قدرة التثبيط :

بالإضافة إلى المعلومات السابقة عن المثبطات فإنه توجد بعض التعميمات :

أ- معظم المثبطات المستخدمة لمقاومة التآكل الذى يسببه الأكسجين المذاب تكون أيونات أن أيونية (ذات شحنة سالبة) إما عضوية أو غير عضوية. وهذه غير مؤثرة نسبياً ضد H_2S , CO_2.

ب- معظم المنتجات المؤثرة فى مقاومة التآكل بفعل H_2S , CO_2 تكون كاتأيونية (ذات شحنة موجبة) من مواد عضوية وبالتحديد الأمينات ذات التسلسل الطويل (Long chain Amines).

مجموعات الأمين تمتز بقوة على الأسطح المعدنية المغطاة بسلفيد الحديد ومثبطات الأمين تعمل جيداً فى حالة وجود H_2S وعدم وجود O_2. الأمينات وخاصة النوع المتطاير يتفاعل كيماوية مع H_2S والمركب المعقد الذى يتكون يساعد فى بناء طبقة الحماية.

4- خصائص طبقات مثبط الأمين الزيتى :

Characteristics of oily amine inhibitor films

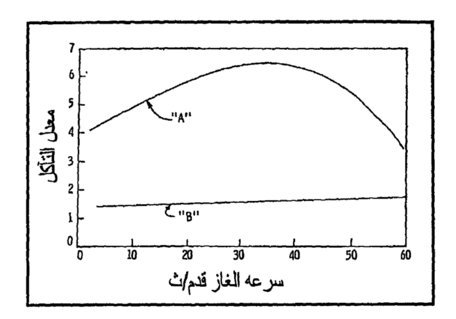
معظم مثبطات حقول البترول من الأمينات الغير متطايرة هى ذات إذابة للزيت تفضيلية أى إنها تنقسم بين مجالات الزيت والماء بحوالى 9 : 1 هذا واقع إذا كانت تتشتت فى الماء (dispersible). الجزء الزيتى لها يذاب بواسطة جزئيات الزيت وبعض الزيت يظل مع الأمينات حتى بعد الإدمصاص على الصلب. لذلك، فإن الطبقة التى تتكون تكون ذات خاصية زيتية طاردة للماء.

النظرية التقليدية للادمصاص تفيد بأن الأمينات تمتز أو تغطى أسطح أولاً فى شكل طبقة ذات سمك جزيئى واحد. وهذه حوالى 1×10^{-7} مليمتر. ولكن الطبقات الزيتية هذه تزداد فى السمك حتى تصبح يمكن رؤيتها وكشفها بسهولة.

طبقات المثبط تكون زيتية وقوية بحيث أنها تزلج أجزاء المعادن التى تحتك بالالتصاق مثل الحوائط أو المواسير المنزلقة لأعمدة المص (Sucker rods). فقد أو تشقق وانتشار الطبقة الممتزة هى دلالة بالنسبة للوقت أساساً ودرجة الحرارة وتركيز المثبط فى السوائل الملتصقة بسطح المعدن. عند انخفاض التركيز فى السائل المنتج

بين الاستخدامات المتقطعة فإن الطبقة تميل إلى التخلص من الادمـصاص (Desorb) وتعود ثانياً إلى المحلول. الوقت اللازم لفقد الطبقة يمكن أن يكون قصيراً لعدة ساعات قليلة عند 160°م أو أعلا ولمدة حوالى أسبوع أو أسبوعين عند 50°م فى آبار إنتاج البترول. عمر الطبقة فى آبار الغاز يمكن أن تكون ستة أشهر أو أكثر عندما يكون إنتاج السائل منخفض.

يوجد استثناء ميكرونى فى الصناعة بالنسبة لتأثيرات سرعة السائل علـى عمـر الطبقة لمثبطات الأمين الزيتية. من المعروف أن معدلات التآكل الغير معالجة وبـدون مثبطات تزداد بزيادة سرعة التدفقات خلال المواسير. وبالتالى فإنه يفترض عند زيادة السرعة الحدية فإن طبقة المثبط سوف يتم إزاحتها بعيداً. ولكن أثبتت الأبحاث أنه فى حالة تدفقات الغاز التى تحتوى على مياه، فإن طبقة المثبط لا يتم إزاحتها عند سرعات كتلة حتى 30متر/الثانية. المنحنى "A" فى الشكل (1/11) يوضح زيادة فـى معـدل التآكل الغير معالج عند السرعات العالية فى الغاز الرطب الحامضى. لا يحدث فقد فى طبقة المثبط فى هذه الاختبارات عند سرعات تدفق 18.3 متر/الثانية.



شكل (1/11) تآكل الصلب الكربونى فى تدفقات غاز حامض

(10% بالحجم H_2S/CO_2 مع مياه محتجزة الحرارة 170° م و الضغط 1500 رطل/ البوصـة المربعة. المنحنى A بدون مثبط المنحنى B باستخدام المثبط)

ولكن يجب ملاحظة أن الاحتكاك بواسطة الأجسام الصلبة ذات السرعة العالية يمكن أن يمزق الطبقة. وهذا ملاحظ عادة فى الكيعان وانحناءات المواسير حيث يحدث التآكل بالاحتكاك عند التصادم مع الأجسام الصلبة.

بالنسبة لتأثيرات الحرارة لقد تم توضيح أن مركبات (Imidazoline) هو أكثر ثباتاً حرارياً مقارنة بأملاح حامض الأمين مختلط الشحنة وتعمل جيداً عند درجة حرارة أعلا من 125°م.

4- مثبطات الأمين المتطايرة المذابة فى الماء :

Water soluble and volatile amine inhibitors:

تستخدم مركبات الأمين ذات الوزن الجزيئى المنخفض من الألكيل (Alkyl) أى التسلسل المستقيم (Straigh Chain) وبعض الأمينات الحلقية (Cyclic) كمثبطات فى عدم وجود الأكسجين. خاصية التطاير لهذه المركبات تجعلها مفيدة فى معالجة تدفقات الغاز وفراغات البخار (Vapour Spaces) فى قيسونات الآبار. الطبقات التى تكونها ليست متماسكة مثل تلك للأمينات الزيتية ذات الوزن الجزيئى العالى السابق مناقشتها. ولذلك فإنه يجب تغذيتها من آن لآخر أو باستمرار.

عموماً أمينات الألكيل (Alky Amines) المنخفضة مثل داى ميثيل أمين $(C_2H_5)_2NH$ (Dimethyl Amine) أكثر تأثيراً عن الأمينات الحلقية المتطايرة بالنسبة لإيقاف تآكل H_2S. الأمينات الألكيل هى أمينات قلوية ولكن بسبب التعقيد مع H_2S وتكون طبقة فإن كمية الأمين المطلوبة للتثبيط أقل من تلك اللازمة لتعادل كل الغازات الحامضية الموجودة $(H_2S\ ,\ CO_2)$.

الأمينات الحلقية المتطايرة مثل Morpholine And Cyclohexylamine تستخدم لتثبيط تآكل CO_2 فى نظم البخار المكثف. وهذه تعمل أساسا كمعادل للحامض. كذلك طبقات الأمينات ذات الوزن الجزيئى العالى تستخدم كذلك لهذا الغرض.

أمينات معينة غير متطايرة ومذابة فى الماء هى مكونات حفيفة للطبقة بالادمصاص معظم هذه هى Quaternary ammonium chloride – $[R_4\ N]^+\ [CL1]$. بسبب إذابتها فى الماء فإن هذه الكيماويات لها عمر طبقة قصير. وهذه عادة تستخدم

كمبيدات للبكتريا. بعض من هذه المركبات تستخدم بالتغذية المستمرة للمعالجة لمقاومة التآكل فى الآبار ذات درجات الحرارة العالية.

إعداد مثبطات حقل الزيت (Formulations of oil field inhibitors)

كما سبق توضيحه فإن معظم مكونات المثبط الذى يتم إعداده لعمليات إنتاج زيت البترول تكون مبنية على الأمينات ذات الوزن الجزيئى العالى. مثل (Imidazolines) أو أملاح الأمين/ الحامض المحلق (I2).

لإعداد تركيز حقلى لمكونات المثبط، فإنه يتم عادة تخفيف الأمين القلوى بمذيب أروماتيكى (Aromatic solvent) ثم يضاف الكحول إلى أقل نقطة انسكاب (Lower pour point) المحتوى من الأمين القاعدى هو عادة من 20% إلى 40% بالوزن. الخليط النهائى عادة مذاب فى الزيت.

بإضافة عوامل استحلاب (Emulsifiers)، فإن الخليط المذاب فى الزيت يمكنه الانتشار (Disperse) مؤقتاً فى الماء. هذا يساعد فى توزيع المثبط فى كل من المجال الزيتى والمجال المائى لآبار الإنتاج.

بالإضافة إلى إضافة عوامل الاستحلاب للتشتت فى الماء، تستخدم مركبات إزالة الاستحلاب (Demulsifiers) للمساعدة فى منع تكون مستحلب مستقر. الإضافات لمنع وجود مستحلبات ثابتة متجبنة يعتبر هام لتوفير التأثير للمثبط وكذلك لتجنب إفساد الإنتاج. معظم القائمين بخلط المثبطات يتقدموا خطوة للأمام عن طريق خلط (1) الأمين القلوى المذاب فى الزيت (2) عوامل الاستحلاب للتشتت فى الماء (3) أمين متطاير ذو وزن جزيئى منخفض لمعالجة مجال الغاز (وهذه تسمى المثبطات مزدوجة المجال).

المثبطات المذابة فى الماء مثل (quaternary ammonium chlorides) عادة يتم الإمداد بها فى شكل محلول الكحول الماء. وهذه عادة تباع للجمع بين العمل كمثبطات التآكل وكمبيد للبكتريا (Biocides). الرباعيات (Quaternaries) عادة لا تعمل على تثبيط المستحلب ولا تتطلب إضافات لإزالة الاستحلاب.

الجمع بين مثبطات التآكل ومثبطات منع الترسيبات المعدنية (Mineral scale) تتم تحضيره للاستخدام فى إنتاج البترول حيث توجد كلا المشكلتين. وهذه عادة ليست ذات

كفاءة عالية حيث يفضل معالجات منفصلة عندما تكون مشاكل التآكل والترسيبات المعدنية حادة.

المبادئ العامة لاستخدام المثبط :

النقاط العامة التالية والخطوط الإرشادية تساعد فى تخطيط كل أنواع معالجات المثبط.

1. عين الطبيعة الكيماوية وخواص الإذابة للمثبطات تحت الدراسة. لا تفكر فى المنتج من ناحية الاسم التجارى أو الأرقام. كل مورد للمثبط يلزم أن يوفر البيانات موضحاً أن هذا المنتج مناسب للنظام المطلوب معالجته.
2. المثبط يجب أن يكون قادراً على الالتصاق بالمعدن المطلوب حمايته ليكون مؤثراً. هذا يعنى أن المنتج يجب أن يكون مذاباً أو مشتتاً فى السائل الملتصق بالمعدن ويجب استخدامه بالطريقة التى تمكنه من الوصول إلى كل الأسطح.
3. التركيز يجب أن يكون صحيحاً لظروف الاستخدام. وهذا يتحدد بدقة كبيرة بالمحاولات الحقلية.
4. دائماً تبدأ المعالجة بتركيزات عالية التى تغطى أسطح المعدن ثم التقليل لمستوى المعالجة المستمرة أو المعالجة المتقطعة على مراحل (Batch) .هذه الطريقة يوصى بها لكل المثبطات، سواء كانت مذابة فى الزيت أو فى الماء.

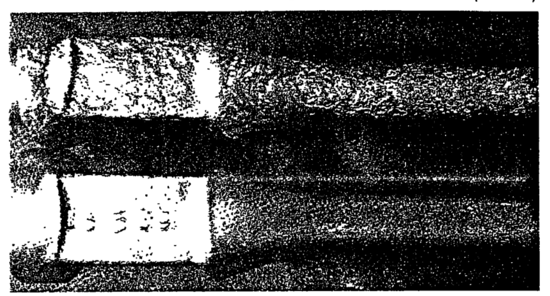
المعالجة المتقطعة أو المرحلية بمثبطات الأمين المكونة للطبقة يمكن عملها وذلك بمثابرة الطبقة الممتزة. النقطة الهامة هنا هى أن الطبقات المستمرة لفترة طويلة يجب أن توضع أولاً من محلول أو مشتت المحتوى على تركيز عالى من المثبط. بعض المراجع تفيد أن حوالى 1000 جزء فى المليون (أو جرام فى اللتر) يكون مناسباً لترسيب الطبقة الجيدة ولكن يوصى بحوالى 3000 إلى 5000 جزء فى المليون (0.3 إلى 0.5% بالحجم) كأقل تركيز للمعالجة المنقطعة أو المرحلية. لا زيادة فى عمر الطبقة لوحظت باستخدام تركيزات مرحلية أكبر من حوالى 10000 جزء فى المليون (1% بالحجم).

بمجرد التكوين، تظل الطبقة الممتزة محققة للحماية لفترة زمنية طبقاً للظروف، كما تم مناقشته. الطبقة يمكن أن تظل ملتصقة وموفرة للحماية إذا كانت السوائل المتدفقة فوقها محتوية على تركيز صغير ومستمر من المثبط. ولكن، البناء الأولى

لطبقة المثبط لا يتم فى حالة استخدام تركيزات منخفضة (5 إلى 30 جزء فى المليون) بدون الفائدة من المعالجة البطيئة الأولية المرحلية. معالجات متعددة مرحلية أوليا يمكن أن توفر طبقة أفضل ويتم عمل ذلك عندما تسمح الظروف الاقتصادية بذلك.

الشكل (12) يوضح تأثير المعالجات المرحلية المتقطعة فى عامود ضخ بئر زيت حامضى.

العامود العلوى لمدة ثلاث أشهر فقط بدون معالجات . العامود السفلى المستخدم لنفس المدة الزمنية فى بئر مجاور معالج مره كل أسبوع باستخدام 7.5 لتر (2 جالون) من الأمين القلوى المشتق فى الماء .



شكل (1/12) قضبان سحب بعد 3 أشهر من الاستخدام فى آبار حامضية

العلوى غير معالج، السفلى معالج كل أسبوع بمثبط أمين

مثبطات الحامض : (Acid inhibitors)

المنتجات المستخدمة لخدمة الشركات لتثبيط عملية تنمية وتقوية وتنظيف الأحماض من البئر هى خليط معقد. عادة يحتوى على البيريدين (Pyridines) عالى الغليان وأمينات أخرى مع الكحولات الأستيلينية (Acetylenic Alcohols) مثل (Propargyl Alcohol And Hexynol). الأخير يتميز بوجود رباط أسيتلينى -C- مكونات الكحول الاستيلينى تتبلمر ظاهريا على أسطح المعدن مكونة طبقة حماية مؤقتة.

عند درجات حرارة البئر حوالى 80°م فإن مثبطات الحامض توفر عموماً حمايـــة مناسبة للتعرض لفترة زمنية من 12 إلى 24 ساعة.

عند درجات الحرارة الأعلى فإن أقصى زمن تعرض مناســب لتجنــب التلــف الشديد يقل سريعاً ويمكن أن يصل إلى ساعات قليلة عند 150°م.

معالجات الحامض يتم التخطيط لها بحرص شديد مع شركات الخدمة التى تــوفر الحامض المثبط. الحامض يجب أن يتم خلطه جيداً وذلك قبل الحقن لتأكيد أن المثبط ثم خلطه بتجانس ولم يتم فصله. بعض المنتجين تأخذ عينات للمقارنة البصرية فى بدايــة وفى وسط وفى نهاية حقن الدفعة (Batch in jection).

شركات الخدمة عادة توصى بكمية المثبط المستخدم (عادة مــن 0.5 إلـــى 3% بالحجم) وعلى طول الوقت الذى يكون فيه الحامض متروكاً فى البئر بأمان – أى جهد معقول يجب عمله لإزالة الحامض خلال فترة زمنية معينة.

تحدث حالات تآكل حادة للمعدات أسفل البئر نتيجة معالجة البئر الحامــضى ثــم إيقافه قبل وصول الرقم الهيدروجينى للماء المنتج وعودته إلى قريباً مــن 5 أو أعــلا (pH5).

الفصل الرابع

الحماية الكاثودية

(Cathodic protection)

1- النظرية والمبادئ :

الأساسيات والقواعد البسيطة للحماية الكاثودية يمكن توضيحها بالرجوع إلى الشكل (1/3) المعدن المستقبل للإليكترونات هو الكاثود الذى لا يتأكل فى خلية التآكل. عند توفير مصدر خارجى لطاقة كهربية توفر الإمداد المستمر بالإليكترونات، فإن كل المنشأ المعدنى يمكن أن يصبح كاثود وبذا يصبح محمى كاثودياً.

كمية سريان الإليكترونات أو كمية التيار الكهربى المطلوب لاستمرار المنشأ (مثل خطوط المواسير المدفونة أو الأجزاء المغمورة من الرصيف البحرى) فى ظروف الحماية الكاثودية يتوقف على البيئة الملاصقة أساساً. متطلبات التيار هو دلالة لمعدل الاستقطاب الكاثودى والذى بالتالى يتوقف على آليات التفاعلات الكهروكيميائية التى تحدث على سطح التقابل بين الكاثود والإليكتروليت.

فى عمليات إنتاج البترول، بعض حالات الظروف البيئية العامة حيث يقاوم التآكل بالحماية الكاثودية.

1. التعرض الخارجى للتربة ذات كميات مختلفة من الرطوبة، الأملاح، الأكسجين المذاب.
2. التعرض الخارجى لسريان مياه البحر المهواه.
3. السطح الداخلى للخزانات المعرضة للماء المحتوى على أملاح مذابة، أكسجين CO_2 , H_2S.

فى كل هذه الحالات، يكون أيون الهيدروجين (H^+) متوفر لتفاعل الاختزال الكاثودى. عند توفر الأكسجين ليتفاعل مع أو يزيل الهيدروجين الذرى المتكون على سطح الكاثود، فإن متطلبات التيار تتناسب مع مدى توفر الأكسجين. فى حالة زيادة

تركيز أيون الهيدروجين بسبب ظروف الحامض، فإن سريان الإليكترونـــات اللازمـــة لاستمرار الاستقطاب الكاثودى سيكون مرتفعاً.

من الناحية النموذجية، الحماية الكاثودية تبعد سريان التيار بين أجـــزاء المنـــشأة وذلك بإبعاد فرق الجهد الموجود مسبقاً بين الأجزاء.

2- متطلبات التيار : (Current requirements)

وحدة متطلبات التيار هى كثافة التيار أو الأمبيرات (A)/وحدة المـــساحة للمعـــدن أمبير/ قدم مربع أو متر مربع للسطح. إجمالى التيار المطلوب يقدر تقريباً بمجموع كل تيارات الأنود إلى الكاثود التى تسرى أساساً فى المعدن.

نظراً لأن تيارات التآكل هى عموماً منخفضة نسبياً، فإن كثافـــة تيـــار الحمايـــة الكاثودية تقيم عموماً بالملى أمبير/ قدم مربع أو المتر المربع. كثافة التيـــار للـــصلب الغير مغطى فى مجالات بيئية مختلفة موضح فى الجدول (4/1).

جدول (4/1) متطلبات كثافة التيار للصلب الغير مغطى

البيئة المحيطة	ملى أمبير/قدم مربع	ملى أمبير/المتر المربع
تربة رطبة	3-2	33 – 21
ماء عذب يسرى (1)		
سرعة أقل من 1 متر/ثانية	6-4	65 – 43
ما أعذب عسر (2)		
سرعة أقل من 1 متر /ثانية	4-2	43 -22
سرعة أكبر من 5 متر/ثانية	12 – 10	129 – 107
ماء بحر أو ماء عالى الملوحة		
سرعة أقل من 1 متر/ ثانية	10 – 8	107 – 86
سرعة أكبر من 5 متر /ثانية	80 – 15	860 – 161

الاختلاف فى متطلبات التيار ما بين الماء اليسر والماء العسر وتأثير سرعة المياه كما هو موضح فى الجدول (4/1) هى تأثيرات يجب عملها مع طبقات سطح المعدن. فى المياه العسر حيث السرعة بطيئة المحتوية على كالسيوم مذاب، كثافة التيار تسبب

طبقة قشرية (Scale film) على المعدن المحمى. يتم ذلك أساساً لترسيب الكالسيوم بالايدروكسيد المتكون بالتفاعل الكاثودى.

$$H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2e \longrightarrow 2OH^- \quad (أ)$$

والذى يليه

$$Ca^{++} + HCO_3^- + OH^- \longrightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (ب)$$

هذه التفاعلات هامة فى التطبيقات العملية للحماية الكاثودية ذلك نظراً لأن القشور المحتوية على الكالسيوم تغطى السطح وتقلل إلى حد مؤثر مساحة المعدن الغير مغطى وبذا تقلل متطلبات التيار. عندما تكون سرعة المياه عالية، فإن طبقة الترسيبات القشرية لا تتكون بسهولة.

تأثير آخر للسرعة العالية للمياه هى سرعة انتقال الأكسجين المذاب إلى المعدن. فى حالة السريان المتوسط للمياه المالحة (ماء البحر)، فإن المنشآت البحرية يمكن حمياتها بواسطة 8 – 12 ملى أمبير/القدم المربع (86 إلى 129 ملى أمبير/المتر المربع). فى حالة التيارات السريعه (مثل مياه بحر الشمال) فإن كثافات التيار حوالى 15 ملى أمبير/ القدم المربع (160 ملى أمبير/ المتر المربع) أو أكثر تكون لازمة للحماية الكاملة. وهذه القيم مبنية على الخبرة العملية وتمثل إجمالى كثافات التيار اللازم لاستخدامها. بالنسبة للمنشآت المعقدة مثل أرصفة الحفر للإنتاج فى مياه البحر العميقة، فإن أدنى كثافة تيار مطلوبة للحماية يمكن أن تتغير على الأماكن المختلفة على المنشأ ومع الوقت. وصلات المقبض الملحومة قرب سطح الماء تحتاج إلى تيار أكثر عن المقاطع المستقيمة للمقابض على أعماق منخفضة. وهذا ناتج عن المحتوى العالى من الأكسجين للمياه العليا وزيادة استعداد الوصلة الملحومة للتآكل.

عامل الوقت الذى ذكر هو دلالة كبيرة للمعدل الذى تتراكم به الرواسب والقشور الكلية. إذا كانت الكثافة الأولية للتيار منخفضة جداً، فإن الرواسب القشرية قد لا تتكون والمنشأ قد لا يستقطب. استخدام تيار مرتفع جداً بحوالى 100 ملى أمبير/ القدم المربع (1100 ملى أمبير/ المتر المربع) لعدة أيام يسبب سرعة تكون الرواسب القشرية والتى يمكن أن تستمر بحوالى ثلث كثافة التيار المستخدم عادة للصلب الغير مغطى. هذه المتغيرات تؤكد تعقيدات الاستخدامات العملية لحالة مبسطة للحماية الكاثودية.

3- مصادر التيار وطريقة سريان التيار :

بالإشارة إلى الشكل (1/3) لاحظ أنه فى خلية تآكل طبيعية فورية، فإن الإليكترونات تسرى من الأنود إلى الكاثود خلال دائرة المعدن. التيار الكهربى التقليدى معروف أنه يسرى فى الاتجاه العكسى من الآنود إلى الكاثود خلال الإليكتروليت الموصل أو التربة. ما يؤخذ فى الاعتبار هو فقط ممر سريان للتيار الكهربى التقليدى وذلك فى التطبيقات العملية للحماية الكاثودية، التفاعلات الكيماوية السطحية التى تتضمن الإليكترونات سيتم عدم اعتبارها.

فى خلية التآكل الطبيعية، تنطلق الاليكترونات مع إذابة معدن الآنود مكونه أيونات موجبة الشحنة (ليس بها اليكترونات). ذرات المعدن التى تذهب إلى المحلول وتفقد الإليكترونات يقال أنها تأكسدت كهروكيميائياً. لذلك فإن الآنود هو المكان حيث تحدث تفاعلات كهروكيميائية (الفقد فى الإليكترونات) الأكسدة وتسود. على أسطح الكاثود المعرضة للإليكتروليت، تحدث تفاعلات اختزال كهروكيميائى (استهلاك واستغلال الإليكترونات). فى المعادلة أ فصل 2 توجد المعادلة التقليدية للتفاعل الكاثودى حيث يختزل الأكسجين المذاب كهروكيميائياً ليكون أيونات الأيدروكسيد (OH^-) توالد الهيدروجين الجزيئى H_2 من أيونات الهيدروجين H^+ هو تفاعل اختزال كاثودى آخر.

نفس المبدأ لسريان التيار والإليكترونات ينطبق فى نظام الحماية الكاثودية حيث كل المنشأ يتحول إلى كاثود كبير وذلك بالاتصال بواحد أو أكثر من الأنودات المنفصلة خلال موصل كهربى. بصرف النظر عن مصدر الطاقة الكهربية المستخدمة لتوفير الحماية الكاثودية، فإن الأكسدة الكهروكيميائية (انطلاق الإلكترونات) تحدث تفاعلاتها عند أسطح الآنود (تفاعلات الأكسدة)، بينما الاختزال الكهروكيميائى تحدث تفاعلاته (الاختزال) عند أسطح الكاثود. ثانياً، يعتبر سريان التيار الكهربى من الآنود إلى الكاثود خلال ممر الإليكتروليت أو التربة. لذلك يجب أن يستمر الممر الإليكتروليتى للتوصيل بين الآنود والكاثود فى عملية الحماية الكاثودية. وهذا يعنى أن الحماية الكاثودية المستخدمة على السطح الخارجى للماسورة أو الخزان سوف لا تحمى الأسطح الداخلية والعكس صحيح.

يوجد مصدرين لتيار الحماية الكاثودية وهما.

1. الأنودات الضحية أو الجلفنية (Sacrificial or galvanic anode) المصنوعة من الزنك، المغنسيوم والألومينوم.

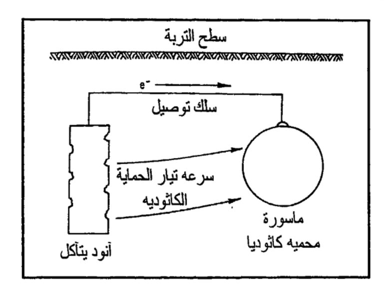
2. المولدات الكهربية – عادة تحويل التيار الكهربى المتغير إلى تيار ثابت باستخدام معدلات التيار (Rectifiers).

عند اتصال الآنودات الجلفنية بواسطة سلك موصل بالصلب المغمور فى إليكتروليت موصل، فإن الصلب يصبح فوراً الكاثود فى اتصال المعادن الغير متماثلة. الآنودات الجلفنية المستخدمة عادة هى معادن (الزنك، المغنسيوم أو الألومنيوم)، طبيعى أن لها جهود إذابة أعلا من الحديد أو الصلب (جدول 1/1). فمثلاً، فإن جهد الأكسدة القياسى للمغنسيوم فى التسلسل الجلفنى هو 2.37 فولت مقابل 0.44 – فولت للحديد. عند الالتصاق الأولى فإنه توجد قوة دفع مؤثرة (ΔE) بين المغنسيوم والصلب بحوالى 1.5 فولت (مقاسه بقطب النحاس/ كبريتات النحاس القياسى) لتحريك التيار (طبقا لمكونات الآنود ودرجة الحرارة .. الخ).

الشكل (1/13) يوضح آنود ضحية (جلفنى) منشأ على خط مواسير. طبقاً للقواعد التقليدية لسريان التيار، فإن التيار يترك الآنود ويسير خلال اليكتروليت التربة إلى الماسورة، وبذا يحميها.

قاعدة أخرى هى أن نقطة خروج التيار إلى الإليكتروليت (التربة) تنتقل من سطح الماسورة إلى سطح الآنود. يعتبر التيار كما لو أن خروجه من الماسورة خلال سلك التوصيل إلى الآنود حيث يصرف إلى التربة. لذلك فإن إنشاءات آنود الحماية الكاثودية تمثل احيانا نظم صرف أو خروج تيار.

عند استخدام مولدات الكهرباء أو معدلات التيار، فإن إنشاءات الحماية الكاثودية تسمى نظم التغذية بالتيار التأثيرى (Impressed current) فى هذه الحالة فإن تفاعلات أكسدة الآنود التى توفر الإليكترونات تحدث على أسطح الآنود. فمثلاً، أيونات معينة فى الإليكتروليت التى تحتوى على الأكسجين فى مكوناتها يحدث لها فقد فى الإليكترونات (أكسدة) ويتولد الأكسجين الجزيئى (O_2) على أسطح الآنود. يمكن أكسدة أنواع أخرى من الأيونات طبقاً لمكونات الماء (الإليكتروليت) والفولت المستخدم. ولكن مقارنة بالآنود الجلفنى (الضحية) فإن مادة آنود التيار التأثيرى المستمر لا يتآكل. فى الواقع، فإنه يتم اختيار الآنودات للاستخدام فى نظام التيار المستمر التاثيرى ليكون عمر استخدامها المفيد طويلاً.



شكل (1/13) أنود جلفنى يتآكل على خط مواسير تحت الأرض

مواد الآنود العادية للاستخدام فى حالة التيار المستمر فى التربة هى الجرافيت (الكربون) أو الحديد الزهر بمحتوى عالى من السيليكون. آنودات المعدن المغطاة بطبقة من البلاتين تستخدم فى التربة أو المياه المالحة. كل هذه قادرة على صرف كميات كبيرة من التيار الكهربى مع فقد قليل من مادة الآنود نفسها. كما تم شرحة سابقاً المصدر الرئيسى للإليكترونات هو من الأكسدة الكهروكيميائية للايونات فى الإليكتروليت الملاصق.

الأنودات الضحية او الجلفنية : Sacrifical or galvanic anodes

كمية تيار الحماية الكاثودية التى يمكن توفيرها (أو صرفها من) المنشأ باستخدام الأنودات الجلفنية تتحد بواسطة الآتى:

1. فرق الجهد المنخفض.
2. المقاومة الكهربية للتربة أو الإليكتروليت،
3. التيار المفقود بتآكل الخلايا الموضعية على الآنودات بسبب الملوثات بسبب تآكل الخلية الموضعية، فإن آنودات المغنسيوم تكون كافية بنسبة 50% فقط. أى حوالى 50% من التيار المنتج بمحلول المغنسيوم يذهب لمعاونة التآكل على الآنود نفسه.

سبائك خاصة وتقنيات سبك الآنود تستخدم لزيادة كفاءة آنودات المغنسيوم التجارية وأنودات الألومنيوم. ملوثات الحديد والنحاس تكون أقل ما يمكن. يتم سبك الزنـك أو الأنديام (Indium) مع الألومنيوم لزيادة الكفاءة. آنودات الألومنيوم لا يكون أداءها جيداً فى التربة واستخدامها الرئيسى هو فى مياه البحر المتدفقة.

الإمكانيات التقليدية لخرج التيار لمعادن الآنود تحت تحميـل مـن 200 – 700 ملى أمبير/ القدم المربع (مبنى على مساحة الآنود) كالآتى :

مكونات معدن الآنود	الأمبير / الساعة المؤثر	
	للرطل	للكيلو جرام
سبيكة Hg – Zn – Al	1270	2800
Mg – (H – I alloy_	500	1100
زنك	370	820

آنودات الألومنيوم (سبائك Zn – Hg أو Zn – indium) تستخدم عادة على المنشآت البحرية ذلك بسبب الخرج العالى للتيار لوحدة الوزن.

سبيكة Al – Zn – In يزداد الرغبة فى استخدامها.

يعتبر التوزيع الجيد للآنود من الأمور الحساسة بحيث كل أجزاء المنـشأ تتلقـى التيار المطلوب. عدد وأحجام (الوزن الكلى) للآنودات يتم اختياره لفترة زمنية طبقـاً لعمر التشغيل (10 – 20 سنه) والتى تبنى على كثافة التيار وسطح المعدن المعرض.

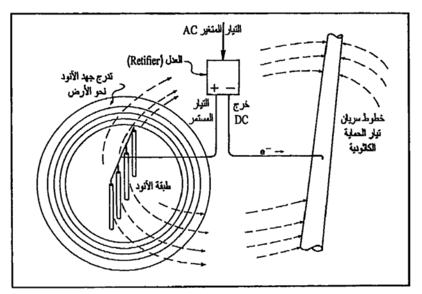
آنودات المغنسيوم تستخدم عادة لحماية خطوط المواسير بسبب جهد الدفع العـالى لها (1.55-) فولت مقابل قطب النحاس/ كبريتات النحاس مقارنة بـ 1.1 فولت للزنك والألومنيوم). يتم التصميم عادة لمدة خمس إلى عشر سنوات للمواسير المغطاة. أحجام الآنود تتروواح ما بين 8 إلى 23 كيلو جرام (17 إلى 50 رطل) يتم وضـع آنـودات لكل مفردة أو مزدوجة فى المساحات الآنودية المحددة بعمليات المساحة الحقلية لجهـد الخط وفى التربة ذات المقاومة المنخفضة. يستخدم مخلوط خاص من الجبس والطفـل كمواد ملئ حول الآنودات الجلفنيه لخفض مقاومة خروج التيار. يوجد آنودات منفردة معبأة فى شكاير مع مواد لملئ.

يتم توفير الحماية للطول الكلى على خط المواسير المغطى بمجموعات من آنودات المغنسيوم بفواصل على طول خط المواسير للتوزيع الجيد للتيار. كبديل يتم الحصول

على توزيع متجانس للتيار بواسطة شريط آنود المغنسيوم (Mg Ribbon Anode) الذى يوضع موازياً للماسورة ومتصل على مراحل. الآنود الشريطى مناسب فقط لخطوط المواسير القريبة وعليها طبقة تغطية جيدة حيث متطلبات التيار الكلى منخفضة. الزنك مؤثر عموماً فقط فى المياه المالحة والتربة ذات مالا يزيد عن 1000 أوم/سنتيمتر مقاومة. تستخدم الآنودات المثبتة لفترة خدمة طويلة على خطوط المواسير المغمورة فى مياه البحر والتى تغطتيها بطبقة من المونة الأسمنتية والأسفلت أو بأى طبقة تغطية سميكة.

نظام التغذية بالتيار المستمر التأثيرى (Impressed current systems)

الشكل (1/14) يوضح طبقة آنود باستخدام معدل التيار لتوفير تيار الحماية الكاثودية لجزء من خط مواسير مدفون.



شكل (1/14) نظام الحماية الكاثودية بالتيار المستمر

الأنودات المنفردة لخدمة التربة هى عادة قضبان اسطوانية مصنوعة من الجرافيت أو من حديد الزهر عالى السليكون وعادة تثبت عمودياً فى مجموعات (يفضل فى صف مستقيم) على طول خط المواسير. ثقوب الحفر للآنودات الرأسية تكون بقطر أكبر من قطر الآنود ثلاث أو أربع مرات والفراغ المحيط بالأنود يتم ملؤه بحبيبات من الكوك أو مسحوق الجرافيت المدموك بانتظام وتجانس لخفض المقاومة ما بين الآنود والتربة. يمكن استخدام آنودات الحديد الزهر بدون طبقة الملئ فى التربة ذات المقاومة المنخفضة.

إذا كانت الطبقة الصخرية السفلية تعيق الحفر العمودى، فإنه يمكن وضع قضبان الأنودات أفقياً على عمق الماسورة. فى المساحات المزدحمة يمكن توزيع قضبان الآنود المنفردة بالتيار التأثيرى على طول المنشأ المطلوب حمايته بدلاً من طبقة المجموعات. يمكن استخدام ثقب حفر عميق مفرد لاحتواء واحد أو أكثر من آنودات التيار التأثيرى.

توجد أنواع كثيرة من المعدلات (Rectifiers) للتيار الكهربى لتعديله من التيار المتغير إلى التيار المستمر، بما فيها أنواع التبريد الهوائى وأنواع الغمر فى الزيت. مجال الجهد (الفولت) وخرج التيار (الأمبير) تقريباً غير محدد لمختلف أحجام المنشآت. كما توجد المعدلات الآلية التى تغير خرج التيار طبقاً للمطلوب لاستمرار الجهد الحالى على المنشأ المحمى. دائرة المعدل ذو المجال الواحد، بقنطره الموجه الكلية موضح تخطيطه فى الشكل (4/3) (Single phase, full wave bride rectifier). لاحظ أن الطرف الموجب (+) لخرج التيار المستمر يتصل بالآنودات والطرف السالب (–) يتصل بالمنشأ المطلوب حمايته. علامات (+) ، (–) على أطراف الخرج هى للإشارة الكهربية فقط ولا يتم الخلط مع علامات موجب وسالب لتفاعلات نصف الخلية الكهروكيميائى. يجب الحرص نحو تأكيد أن الاستقطاب الكهربى يكون صحيحاً (كما فى الشكل (1/14)، وإلا فإن التآكل فى المنشأ سيتم تعجيله.

بالإضافة إلى مصدر الطاقة المحلى للتيار المستمر، فإنه يمكن استخدام مصادر طاقة كهربية للتيار المستمر فى حالة الأماكن البعيدة. وهذه تشمل :

1. مولدات الطاقة إما للتيار المستمر أو للتيار المتغير مع المعدل.
2. المولدات الكهروحرارية (Themoelectric) باستخدام التسخين بالوقود للثيرموكابل (fuel heated thermocouple) لإنتاج التيار الكهربى.
3. مولدات الطاقة الكهربية بالطاقة الشمسية.
4. مولدات الطاقة من الرياح مع بطاريات التخزين.

نوع الثيرمو اليكتريك مناسب عملياً ومؤثر لخطوط نقل الغاز الطويلة حيث يؤخذ الوقود من الخط المطلوب حمايته. عند 10 فولت، 10 أمبير تغذية بالمولد الحرارى إلى الطبقة الأرضية مع مقاومة I أوم ستستهلك من 3000 إلى 3500 متر مكعب من

الغاز الطبيعى فى العام. تستخدم الطاقة الشمسية للحماية الكاثودية لخطوط المواسير البعيدة وكذلك لقيسونات البئر. توجد الأنواع الآلية التى يمكنها تتبع الشمس.

نظم الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى (المستمر) تستخدم لبعض الأرصفة البحرية للحفر/ الإنتاج، خاصة عندما تكون متطلبات التيار مرتفعة جداً وأن الوزن الكلى للآنودات الجلفنية (الألومنيوم) يكون ضاراً. يتم توفير التيار المستمر بالمولدات الكهربية .عادة يتم تثبيت الآنودات على أرجل الرصيف والكمرات العرضية (Cross members) فى أماكن مصممة لتحقيق التوزيع الجيد للتيار، وخاصة على الوصلات حيث الإجهاد يكون مرتفعاً. مواد الآنود المستخدمة على نطاق واسع للعمل فى البحر هى التيتانيوم المغطى بالبلاتين وكذلك الرصاص مع 6% من الفضة.

تأثير مسافة طبقة الأنود من المنشا :

طبقات الآنود المدفونة بالتيار المستمر التأثيرى على خطوط المواسير أو أى منشأ آخر ضخم عادة توضع على مسافة بعيدة كهربياً عن المنشأ لتسهيل توزيع التيار. فى الشكل (1/14) الدوائر حول طبقة الآنود تمثل تدرج فى الفولت أو الجهد فى التربة. الجهد ما بين الآنود – التربة يكون أعلاه قرب الطبقة ويقل مع كل جزء من المسافة بعيداً. التغير فى الجهد يتناسب عكسياً مع حجم التربة التى يجب أن يسرى خلالها خروج التيار. فمثلاً، إذا تم قياس الجهد ما بين الآنود والتربة بواسطة الفولتميتر والقطب القياسى عند عدة فترات قصيرة مع الحركة بعيداً عن الطبقة، سنجد أن الفرق فى قراءات الجهد بين كل فترة يزداد صفراً مع كل قياس. حتى الوصول إلى نقطة حيث قراءات الجهد تظل ثابتة عملياً وتظهر عدم تغير واضح. كذلك المنشأ المحمى له منطقة تدرجات الجهد حوله وإلى الخارج إلى نقطة ثبات الجهد. تعتبر طبقة الآنود بعيدة كهربياً إذا كانت بعيدة بما يكفى فى حالة أن التدرج فى الجهد حولها وحول المنشأ لا يحدث بينهما تطابق.

يتحدد نصف قطر التدرج فى الجهد (Potential gradient) بكمية سريان التيار ومقاومة التربة. الآنودات الفردية تصرف تيار أقل من مجموعات الآنودات ولذلك يمكن وضعها قريباً من المنشأ ولا تزال بعيدة كهربياً. الأوضاع القريبة لآنودات التيار التأثيرى التى يتم توزيعها تكون أحياناً مستخدمة فى المساحات المزدحمة لتجنب مشكلة التداخل على المنشآت القريبة الغير محمية (سيتم مناقشتها فيما بعد).

الآنودات القريبة تحمى مساحة أقل من إجمالى مساحة المنشأ لكل أنود ذلـك لأن التيار ليس له المسافة الكافية التى خلالها ينتشر ويوفر التغطية، وبالعكس. الآنـودات القريبة توفر كثافة تيار أعلا (أمبير/وحدة المساحة) مع جهد دفـع مـنخفض (فولـت منخفض) لأن الممر الإليكتروليتى يكون قصيراً ويوفر مقاومة أقل. فى حالة خطـوط المواسير المغطاة، طبقات الآنود (Anode Beds) القريبة التى تستخدم بالتيار التأثيرى يمكن أن تسبب جهود عالية جداً وكذلك تفكك طبقة التغطية على أجزاء من الماسـورة التى تكون قريبة من الآنودات.

وجود جهود زائدة لا يحدث عند استخدام الآنودات الجلفنية القريبة لحماية الصلب المكشوف الغير مغطى. على الأرصفة البحرية، يتم التثبيت المباشر للآنودات الجلفنية (عادة ألومنيوم) على الأرجل والكمرات العرضية بفواصل عادة لا تزيد عن 30 سـم (12 بوصة). يتم التوزيع الاستراتيجى للأنودات حول المنشأ للتوزيع المتجانس للتيار.

الجهود الكهربية وقواعد التصميم :

Electrical potentials and protection criteria

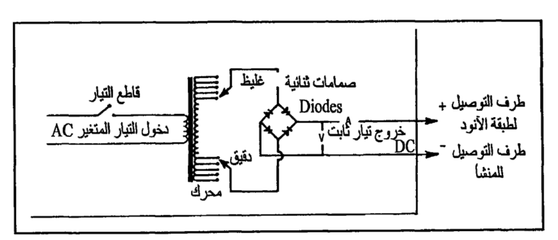
التصميم الهندسى لمنشآت الحماية الكاثودية يتطلب المعرفة لكثافة التيار اللازمـة للوصول إلى الحالة المطلوبة للحماية. كما سبق توضيحه، يتم الوصول إلـى الحالـة المحمية عندما تكون فروق الجهد (وبذا سريان التيار) بين الأماكن الآنودية والكاثودية الأصلية غير موجودة. لذلك، فإن جهد المنشأ يستخدم طبيعياً كمعيار مفضل أو أساس للحماية بدلاً من الاعتماد على كثافة التيار المسحوبة المطلوب اسـتخدامها. المـشكلة كانت ومازالت مسألة قرار فى أى مستوى من الجهد يكون مطلوباً لمعظم المجـالات البيئية المحيطة. أساس القواعد الثلاث المستخدمة عادة للجهد سيتم تناولها فى الآتى :

مساحات التآكل الأنودى على الصلب المدفون فى التربة الرطبة أو المغمور فـى مياه مهواه تمثل جهود مقاسة بحوالى ‎-0.8‎ فولت مقابل قطـب النحـاس/ كبريتـات النحاس (Cu / $Cu\ SO_4$) القياسى وحوالى ‎-0.83‎ فولت مقابل الفضة / كلوريد الفضة (Ag / AgCl). المساحات الكاثودية لها جهود أقل سـلبية (less Negative) أى أكثـر إيجابية (More positive). فرق الجهد ΔE بين الآنودات والكاثودات يتم غالباً السيطرة عليه طبقاً لمعدل وصول الأكسجين عند مساحات الكاثود أى معدل إزالة الاسـتقطاب الكاثودى (Cathodic depolariztion).

عند توصيل منشأ صلب مدفون أو مغمور مع آنود خارجي له جهد سلبى أعلا عن ذلك الآنودات المنشأ أو بمصدر تيار سالب (مثل الطرف السالب لمعدل التيار Rectifier)، فإن المساحات الكاثودية على الصلب تميل إلى الاستقطاب إلى جهد مواقع الآنود. وهذا يتطلب تيار كافى يتم توفيره من مصدر خارجي لأداء التفاعلات الكاثودية السطحية، ولا يتم سحب تيار إضافى من الآنودات المحلية.

فرق الجهد الموجود قبلاً لكل من الآنود والكاثود يتم الآن محوه ويصبح المنشأ محمياً. كل المنشأ الآن يكون عند جهد متجانس نسبياً ولكن هذا الجهد يكون دائماً أقل سلبية (Less Negative) (أو أكثر إيجابا) عن ذلك للآنود الخارجى الذى يمد بالتيار.

عملياً، يؤخذ جهد المنشأ المحمى – 0.85 فولت مقابل قطب النحاس/ كبريتات النحاس القياسى أو – 0.8 فولت مقابل قطب الفضة / كلوريد الفضة لتوفير سماح الخطأ فى القراءات. هذه هى أدنى جهود مقاسة لتأكيد حماية تامة مناسبة ويمكن أن يكون أعلا عند بعض النقط. الجهود المتجانسة الحقيقية عادة لا يتم الحصول عليها ولكن الجهود السابق ذكرها هى المستخدمة كثيراً كقواعد أساسية لتعيين الحماية.



شكل (1/15) دائرة المعدل Rectifier

قواعد بديلة للحماية الكاثودية (متضمنة السابق) تكون مقبولة. أحدها هو إزاحة أدنى جهد سلبى (كاثودى) بـ 0.3 فولت (300 مليفولت) عند كل النقاط على المنشأ بعد استخدام التيار. والآخر يتم قياسة بالفصل المؤقت لتيار الحماية (قفل جهاز تعديل التيار، Rectifier turned off) واختبار جهد المنشأ خلال الدقائق القليلة التالية. عند توقف تيار الحماية الكاثودية فإن جهد المنشأ عند نقطة الاختبار سينخفض فى الحال

(يصبح أقل سلباً) ثم عندئذ يتحرك ببطئ إلى أسفل نحو الجهد الأولى لعدم الحماية. فى حالة جهد الفصل (off) (الذى يقاس بعد الهبوط الأول السريع) ليكون 100 ملى فولت أكثر سلباً عن الجهد الأصلى لعدم الحماية عند كل نقطة اختبار، فإن المنشأ يعتبر أنـــه محمى مع توصيل التيار. هذا لا يتطلب أن تكون كل الجهود أعلا من 0.85– مقابـــل قطب النحاس/ كبريتات النحاس مع توصيل التيار. لقد أظهرت الدراسات الحديثـــة أن استقطاب 100 ملى فولت (فصل الجهد) كقاعدة هو من المحتمل المؤثر الأكثر قبـــولاً للحماية فى مختلف أنواع التربة كما فى حالة خطوط المواسير الطويلة. قواطع التيـــار الآلية المبرمجة متـــوفرة لعمليـــة فـــصل الجهـــد أو اختبـــارات الفـــصل اللحظـــى (Instant off)، والاختبار التداخل لنظام الحماية الكاثودية.

قياس جهد المنشأ (Measurements of structure potentials)

تقيم الجهد النسبية حول وعلى طول المنشآت المدفونة أو المغمورة يجب قياســـها لتعيين:

1. إذا ما كانت الحماية مطلوبة.
2. أين سيتم وضع الآنودات.
3. ما هى كمية التيار المطلوب إمدادها.
4. ما إذا كانت الحماية قد تحققت أم لا.

الجهود عند نقط مختلفة يتم قياسها مقارنة بالقطب القياسى والذى هـــو ببـــساطة نصف خلية ثابت. أفضل الأقطاب القياسية للاستخدام الحقلى هـــى تلـــك ذات الثبـــات والمقاومة الطبيعية والتى تقاوم الاستقطاب (التغير فى الجهد) وهى بذلك تكون مناسبة كأقطاب قياسية.

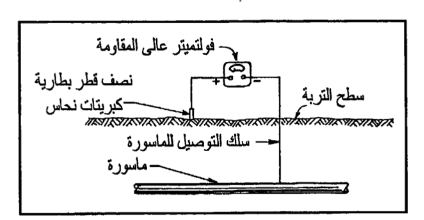
قطب النحاس/ كبريتات النحاس ($Cu/CuSO_4$) أو نصف الخلية هو المفضل لعمل الحماية الكاثودية فى التربة، ولكن قطب الفضة/ كلوريد الفضة هو المفضل للاستخدام فى مياه البحر. قيم الجهد المقاسة يجب دائماً أن تذكر القياسى مثل كذا فولـــت مقابـــل $Cu/CuSO_4$ ، Ag/AgCl، الكالوميل المشبع.. الخ. نصف خلية $Cu/CuSo_4$ هى ببساطة عامود نحاس لامع أو أنبوبة مغمورة فى محلول مشبع من كبريتات النحـــاس. عـــادة

يوضع كلاً من المعدن والمحلول فى وعاء من البلاستك المتصل به سلك توصيل إلى أعلا وسدادة مثقبة (لتوصيل الأيونات) عند القاع.

الشكل (1/16) يوضح وضع قياس الجهد عند نقطة على خط المواسير بقطب النحاس/ كبريتات النحاس القياسى مغموراً فى التربة فوق خط المواسير مباشرة. هذه القيم تعرف بأنها الجهود ما بين الماسورة – إلى – التربة (P/S). الاختلافات فى قراءات الجهد عند نقط مختلفة على طول الخط يشار لها الانخفاضات فى الجهد (IR drops). وهذا مقبول حيث فى قانون أوم

E I × R

(المقاومة بالاوم التيار بالأمبير الجهد بالفولت)



شكل (1/16) قياس جهد الماسورة / التربة على خط المواسير

القطب القياسى يكون متصل دائماً بالطرف (+) للمليفولتميتر (50K أوم أو أكبر دخل المقاومة) أو البوتنشيومتير (Potentiomenter). جهد الماسورة المقاس (ملى فولت) يتم تسجيله كقيمة سالبة (–).

توقيع عدة قيم لجهد الماسورة التربة (P/S) مأخوذة على مسافة على طول خط المواسير الغير مغطى والغير محمى يمكن أن تشبه الشكل (1/17). الخط الموصل لنقط البيانات يسمى الشكل العام للجهد. لاحظ أن المساحات ذات الجهد الأكثر سلبية هى الأنودات أو النقط الساخنة (Hot spots). عادة يحدث هذا فى المناطق ذات أدنى مقاومة للتربة مثل الطفل المبلل بالتهوية الضعيفة – للتصميم الأفضل يتم تكرار

القراءات أقرب من 30 متر (100 قدم) كفواصل الموضح فى الشكل (1/17) يتم عمله خلال المساحات الموضحة لتكون نقطة ساخنة.

كقاعدة عامة، يحدث التآكل عند أنود النقط الساخنة الموضحة بالنقط ذات أعلا جهد سلبى. الاستثناء لهذه القاعدة العامة يمكن أن يحدث عند حدوث التآكل للخط أو المنشأ الغير محمى (عموماً فى مساحة محدودة) بواسطة .

1. التداخل من منشأ مجاور الذى يكون تحت الحماية الكاثودية. أو
2. صرف التيار الشارد الداخل من خطوط قوى الجهد العالى أو من نظام كهربى أرضى قوى.

عند وجود تداخل، من تيارات شاردة أو أرضية، سيظهر وادى من الجهود المنخفضة الغير عادية (أقل سلبية) على الشكل العام لتوقيع النقط وبين صرف التيار (التآكل) عند تلك النقط. أى انخفاض (Dips) غير عادى فى الشكل العام (Profile) يتم بحثه لتعيين السبب وإجراء التصحيح المطلوب. قراءات (P/S) الغير منتظمة والمتأرجحة يتم كذلك دراستها وبحثها ذلك لآن هذا يبين وجود دخول تيارات شاردة متغيرة.

عند وجود جهود منخفضة ثابتة ولكن غير عادية على مسافة صغيرة من الماسورة، يتم عمل اختبارات إضافية بتحريك قطب النحاس/ كبريتات النحاس القياسى عرضياً (عمودى) بعيداً عن الماسورة عند هذا المكان. إذا كانت القراءة العمودية المأخوذة حوالى 8 إلى 10 متر (25 إلى 30 قدم) بعيداً تكون حتى أقل سلبية (أكثر إيجابية) عن تلك المأخوذة مباشرة فوق الماسورة، فإنه توجد نقطة ساخنة آنودية ومن المحتمل أن تكون بتأثيرات تداخل.

التداخل – الآلية والتصحيح : (Interference Mechanism correction)

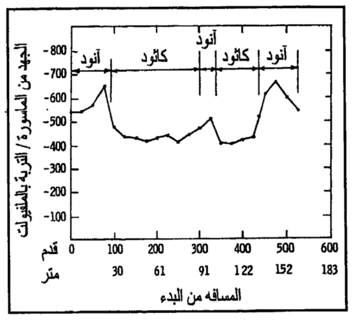
الآن يكون من المهم مناقشة التداخل بتفصيل أكثر نظراً لأنه مشكلة تزداد فى عمليات إنتاج البترول والغاز وخطوط المواسير.

الشرح العملى لتأثير التداخل بين خطوط المواسير يمكن مشاهدته من الشكل (1/14). الموضح خط المواسير المحمى كاثودياً بواسطة معدل التيار وإنشاءات طبقة آنود أرضية. بفرض أن هناك خط مواسير آخر قريب يمر مائلاً قريباً من الطبقة الأرضية (Ground bed) عند نقطة واحدة (خلال المنطقة ذات الجهود العالية ما بين

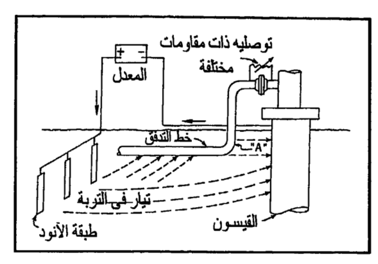
الآنود والتربة) وقريباً من خط المواسير المحمى وبعيداً إلى مسافة ما. خط المواسير الثانى ليس متصلاً كهربياً لأى من الطبقة الأرضية أو الخط المحمى. فهو معزول كهربياً. ولكنه يقاطع خطوط تيار الحماية الكاثودية التى تسرى من الآنود، ولكونه موصل أفضل عن التربة، فإن بعضاً من تيار أنود الطبقة الأرضية يتم التقاطعه عليه. التيار يحمل بخط المواسير الثانى إلى النقطة حيث يمر قريباً من الخط المحمى. هنا يقفز التيار من خط المواسير الثانى ويسير مسافة قصيرة نحو خط المواسير المحمى والعودة ثانياً إلى دائرة المعدل (Rectifier circuit). يحدث التآكل على خط المواسير الثانى حيث منطقة خروج التيار من الخط. اختبارات جهد الماسورة إلى التربة على كلا الخطين عند أقرب النقط بينهما يمكن أن تبين فرق الجهد من عدة أجزاء من عشرة إلى أكبر من واحد فولت. فمثلاً، يمكن أن يكون جهد الخط المحمى 0.85– فولت مقابل $Cu/CuSO_4$ بينما الخط الغير محمى (حيث يعبر أويمر قريباً من الآخر) قد يكون 0.3– فولت مقابل $Cu/CuSO_4$. كقاعدة عامة الجهد المقاس للخط الغير محمى عند نقطة التداخل سيكون أقل بـ 0.2 فولت أو أكثر (أقل سلبية) عن قراءات الجهد المأخوذة على نفس الخط على مسافة 8 إلى 10 متر على أى من الجانبين. يظهر هذا الاختلاف ويختفى عندما يكون المعدل على الخط المحمى فى حالة توصيل وفصل (Turned On And Off) . وفى حالات التداخل كما سبق توضيحه، يمكن عادة وضع سلك موصل بين الخطين عند نقطة التداخل. بدلاً من سريان التيار خلال التربة فإن التيار عندئذ يمر بدون أى ضرر خلال وصلة الموصل وفرق الجهد بين الخطين عند هذه النقطة يتم إبعاده. كمية التيار المار التى تمر خلال الوصلة يمكن ضبطها بواسطة مقاومة لرفع جهد النقطة للخط الغير محمى إلى قيمة أعلا قليلاً (أكثر سلبا) عن الجهود الغير محمية المقاسة على نفس الخط على مسافة 20 إلى 30 متر (65 إلى 100 قدم). هذا عادة يكون مقبولاً ويسبب تجنب الصرف الزائد للتيار من المعدل خاصة حيث عندما يكون الخط الثانى هو الأضخم. رباط التداخل بين الخطوط التى تتبع شركات مختلفة يجب أن يوافق عليه من الجهتين وكذلك مراعاة أى نظم قانونية.

الشكل (1/18) يوضح رباط التداخل القابل للضبط خلال فلنجة عزل الموصلة لخط التدفق المدفون مع قيسون البئر المحمى كاثودياً. بدون الرباط، فإن تيار التداخل على خط التدفق المعزول كهربياً سيترك (يخرج) إلى التربة عند النقطة "A" محدثاً التآكل على خط التدفق. لتصبح هذه المشكلة فإنه يتم ضبط التيار المار خلال الرباط

لرفع الجهد ما بين الماسورة التربة (P/S) لخط التدفق عند النقطة "A" إلى قريباً من جهد رأس البئر ما أمكن بينما يظل خلال حدود خرج (الأمبير) للمعدل. جزء خط التدفق الأقرب إلى رأس البئر يكون عندئذ تحت الحماية الكاثودية من نظام الحماية الكاثودية لقيسون البئر. إذا كان صرف التيار الزائد على المعدل أكبر من ذلك لمعدل الخرج المسموح به (بالأمبير)، فإن الفلنجة عندئذ تامة العزل (بدون رباط خلالها) مع وضع آنود مغنسيوم على خط التدفق عند النقطة "A" لصرف تيار التداخل. إنشاء آنود المغنسيوم يفيد في زيادة الجهد السالب لخط التدفق عند النقطة "A" إلى قريباً من ذلك لرأس البئر المحمية كاثودياً وبذلك يتم إبعاد تآكل التداخل على خط التدفق. يمكن خفض خرج التيار للآنود الجلفني بمقاومة متغيرة موضوعة في السلك الموصل للآنود المتصل مع خط التدفق. بهذه الوسائل جهد الماسورة – التربة (P/S) عند النقطة "A" يمكن المحافظة عليه ليكون ليس أعلا من ذلك لرأس البئر لزيادة عمر الآنود.



شكل (17 /1) الشكل العام للجهد على طول خط المواسير



شكل (1/18) رباط تداخل على فلنجة عزل عند قيسون بئر بالحماية الكاثودية

فى المثال للشكل (1/18) تستخدم وصلة العزل للعزل الكهربى للقيون عن المعدة المحيطة وبذا يحتفظ بتيار الحماية الكاثودية للقيسون. تجهيزات أخرى مستخدمة فى العزل الكهربى للمنشآت المحمية بالحماية الكاثودية هى وصلات العزل من البلاستك، وكذلك الجلب من البلاستك.

توجد تجهيزات أرضى خاصة لاستمرار العزل المطلوب بينما يسمح باضطراب الفولت (Voltage surges) لتتصرف نحو الأرض. الاختراقات الضوئية او إدخال اضطرابات التيار المتغير(AC current surges) يمكن أن يحطم تجهيزات عزل الحماية الكاثودية وذلك بحرق العزل من البلاستك، وأغطية المسامير. درجة الحرارة العالية هى سبب آخر للتلف. عند فقد العزل، فإن الحماية الكاثودية ستفقد كذلك إذا كان تيار الحماية الكاثودية غير كافى لاستمرار جهد الحماية على كل المعدة المتصلة الآن. تجهيزات العزل مثل فلنجات العزل يجب اختيارها من آن إلى آخر للحماية من حدوث التسرب.

الأعمال المساحية للجهد للمنشا البحرى:

الجهود على طول أغطية الأرجل والوصلات للرصيف البحرى يتم قياسها بنفس الطريقة العامة كما هو موضح فى الشكل (1/19)، عدا أن نصف الخلية القياسى يتم إنزالة بواسطة سلك موصل طويل إلى أعماق تم قياسها. يجب الحرص نحو وضع

نصف الخلية القياسى على نفس المسافة بعيداً عن المنشأ لكل قراءة (عـادة 15 – 20 سم أو 6 – 8 بوصة). فى المساحات حيث التيارات الشديدة يستخدم الغطاسين لوضع نصف الخلية. تستخدم نصف الخلية القياسية Ag/AgCl حيث يقبل عموماً – 0.8 فولت (– 800 مليفولت) كقاعدة تصميميه للحماية. قاعدة فـصل الجهـد (Off potential) 100 ملى فولت كذلك مقبولة وذلك عند استخدام الحماية الكاثودية بالتيـار التـأثيرى (المستمر). أحياناً يستخدم أنصاف الخلية المثبتة باستمرار كمؤشر وذلك فـى الـنقط الحساسة على المنشأ البحرى لتوفير المسح المستمر للجهود ما بين المنشأ والماء عنـد هذه النقطة.

الأعمال المساحية للجهد السطحى : (Surface potential surveys)

طريقة الأعمال المساحية للجهد ما بين الماسورة – التربة (P/S) الموضـحة فـى الشكل (4/16) تتطلب التصاق مباشر أو سلك اختبار أو قضيب ما بـين الماسـورة المدفونة والطرف السالب (–) لفولتميتر عالى المقاومة أو البوتنشيوميتر. يمكن كـذلك توصيل الماسورة عند المكان القائم (Riser). لتجنب عمل اتصال مع الماسـورة لكـل قراءة فإن المساحة السطحية للجهد تتم كالآتى :

القراءة الأولية أو الأساسية تتم كما هو موضح فـى الـشكل (1/16) باسـتخدام نصف خلية قياسية واحدة فقط كما فى الشكل. يتم تسجيل القراءة الأوليـة الأساسـية، فمثلاً ، (– 0.65) فولت مقابل نصف خلية النحاس/ كبريتات النحاس. عندئذ يتم إبعاد الالتصاق المباشرة للماسورة وذلك باستبدال نصف خلية آخر بدلاً من عامود أو سـلك الالتصاق (Contacting rod). كلا من نصف البطارية القياسى المتصل واحد منها بكل جانب للفولتميتر، يتم أولاً اختبارهم بضبط أطرافهم المبتلة معاً وملاحظة إنحراف إبرة القياس. إذا كان إنحراف إبرة القياس أقل من 2 مليفولت أثناء هـذا الاختبـار، فـإن نصفى البطارية يكونوا متماثلين ويمكن استئناف اختبار الماسورة.

زوج نصف البطارية المتماثل يمكن إيجاده بتكرار الاختبار طبقاً للمطلوب. نصف الخلية I (المستخدمة فى القراءة الأولية P/S أثناء التصاق الماسورة) يتم تركهـا فـى المكان I ونصف البطارية II يتم ضغطها فى التربة فوق خط المواسير مباشرة عنـد المكان II.

إذا كان الفاصل المخطط بين قراءات P/S هو 30 متر (100 قدم)، عندئذ فـإن المكان II هو 60 متر (200 قدم) على طول خط المواسير بعيداً عن النقطة حيث تم عمل التصاق مباشر مع الماسورة. يتم عمل القراءة الثانية بين نصفى البطاريـة الآن فى التربة فوق الماسورة. فمثلاً، القراءة الثانية أظهرت فرق جهد بين نصفى الخليـة بـ 0.1 فولت (10 ملى فولت) مع نصف البطارية II (المتقدمة) تكون موجبـة (+). فرق الجهد (ΔE) بين نصفى البطارية يضاف عددياً إلى قراءة الجهد – الماسـورة – التربة (P/S) الأولى بـ – 0,65 للحصول على القراءة الثانيـة (P/S) بـ – 0,75 بالمقارنة، إذا كانت نصف الخلية الأمامية (رقم II) يكون سالب (–) على الفـولتميتر، ΔE فإنه يتم استبدال ΔE من القراءة الأولية بقيمة – 0,55 للقراءة الثانية P/S. نصف الخلية II يتم تركه فى مكان II ونصف الخلية I يتم تحريكه إلى الأمام لمسافة 30 متر (100 قدم) إلى المكان رقم III ثم قراءة ΔE، تضاف هذه القراءة أو تطرح من قيمـة P/S السابقة طبقاً للاستقطاب + أو – لنصف الخلية الأمامى كما سبق شرحه.

الكميات التى يتم الحصول عليها يتم توقيعها لعمل الشكل العام للجهد لطول خـط المواسير الجارى استطلاعه. ثانياً، النقط ذات أعلا قيم سلبية P/S على الشكل العـام للجهد توضح النقط الآنودية الساخنة وذلك فى حالة عدم وجـود تيـارات شـاردة أو متداخلة. يفضل للأداء الجيد عمل الاستطلاع لـ P/S بفواصل أقرب لحوالى 5– 10 متر (15 – 35 قدم) بين نصفى البطارية على المساحات المشكوك فيها وذلك للتحديد الدقيق للنقط الساخنة.

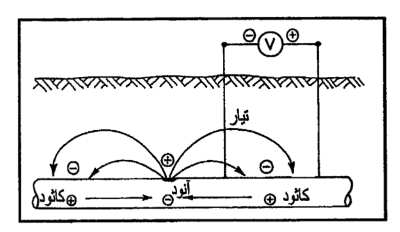
المساحة السطحية للجهد باستخدام نصفى البطارية كما سبق شرحه تكون معرضة لخطأ تراكمى فى القراءات وذلك مع التعرض لاختلافات التربة. لذلك ينصح بالبـدء بقراءة أساس جديدة حوالى كل 300 – 400 متر (1000 إلى 1300 قـدم) وذلـك بإعادة الالتصاق بالماسورة. البدء بقراءة أساس جديدة هام خاصة عند ما يكون هنـاك شك عند إعادة الاستطلاع بخصوص المناطق الآنودية الساخنة.

طريقة خفض الجهد (IR Drop method)

هذه الاختبارات يتم عملها باستخدام قضب للتوصيل بفواصل من 30 إلـى 150 متر _100 إلى 500 قدم)، كما هو موضح فى الشكل (1/19). لا يتم استخدام خلايا قياسية. فرق الجهد (IR) بين نقط الالتصاق يتم قياسه. السريان التقليدى للتيار (عكس

سريان الإليكترونات) فى الماسورة يفترض أنه من الموجب إلى السالب. عند الوصول إلى المساحة الآنودية والمرور بها، فإنه سيلاحظ انعكاس فى اتجاه سريان التيار، موضحاً مكان الآنود (على الماسورة) حيث يخرج التيار التقليدى إلى الأرض. يتم تكرار اختبارات بفواصل أقرب وذلك للتعرف الأفضل على مكان الآنود.

هذه الطريقة نادرة الاستخدام للمواسير المدفونة على عمق كبير وذلك بسبب تكاليف الوصلات المتعددة للالتصاق. ولكن، أساساً تستخدم نفس الطريقة للكشف عن المساحات الآنودية على قيسون البئر (Well casing) وذلك بإنزال أداة خاصة لقياس شكل الجهد على القيسون على خط السلك. الأداة لها سكاكين التتبع بالالتصاق بفواصل 7.6 متر (25 قدم). مع تحرك الأداة لأعلا من نقطة إلى نقطة، فإنه يتم تسجيل فرق الجهد بين سكاكين الالتصاق من البوتنشيوميتر على السطح. التصاق القاع يعطى له إشارة استقطاب سالب (–) للقياسى. توقيع قيم الملى فولت (Mv) مقابل العمل سيبين انعكاسات سريان التيار عبر المناطق الأنودية.



شكل (1/19) طرق خفض الجهد أو سريان التيار لتعيين المناطق الآنودية

تأثير الحماية الكاثودية على جهود المنشأ :

بعد استخدام نظام الحماية الكاثودية الذى تم تصميمه جيداً على المنشأ، فإن العودة إلى الأعمال المساحية للجهد ستبين أن الجهد عند النقط المختلفة قد ارتفع إلى قيمة منتظمة وعالية السلبية ومعقولة. كما تم توضحيه سابقا فإن كل الجهود يجب أن تكون – 0,85 فولت مقابل النحاس/ كبريتات النحاس أو أعلا (– 0.8 أو أعلا مقابل قطب Ag/AgCl).

كل القيم المنخفضة الموضحة فى الشكل (1/17) ستكون قد زادت إلى أو أكبر من الجهد الأصلى للمساحات الآنودية الأصلية. وهذا يتطابق مع النظرية السابق شرحها. النقطة الهامة هى أن فروق الجهد الموجود أصلاً فى المنشأ تم إزالتها. حيث أن كل المنشأ الآن عند جهد متجانس عالى، سريان التيار من نقطة إلى أخرى يكون قليلاً أو معدوماً (والتآكل) على المنشأ. الفرق الرئيسى فى الجهد هو الآن ما بين كل المنشأ وطبقة الآنود.

قياسات مقاومة التربة :

هذه تقنية هامة لاستخدام العمل المساحى بين الماسورة التربة P/S للكشف عن النقط الساخنة الآنودية على طول الخط وكذلك لاختيار أماكن طبقات الآنود (Anode Beds). عدوانية التربة تكون قريبة دائماً من التناسب العكسى مع مقاومتها، ذلك لأن المقاومة المنخفضة تعنى احتمالات عالية للتآكل.

الجدول (4/2) هو دليل عام لتقسيم عدوانية (Corrosivities) التربة بقيم مقاومة مقاسه.

جدول (4/2) تصنيف عدوانية التربة بالمقاومة :

Classification of corrrosivity by resistivity

مقاومة التربة بالأوم-سم	الاستعداد للتآكل
1500 >	شديد العدوانية
5000 – 1500	عدوانية
10000 – 5000	متوسطة
25000 – 10000	ضعيفة العدوانية
أكبر من 25000	عموماً غير عدوانية فى حالة التجانس

وحدة المقاومة هى أوم -سنتيمتر (أوم – سم)، وهذه تساوى المقاومة بالأوم لمكعب مادة ذات بعد اسم على كل جانب. المقاومة هى من صفات المادة ويجب عدم اللبس بينها وبين المقاومة فى الدائرة الكهربية.

علاقتهم يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية

$$P = \frac{R}{\frac{L}{A}}$$

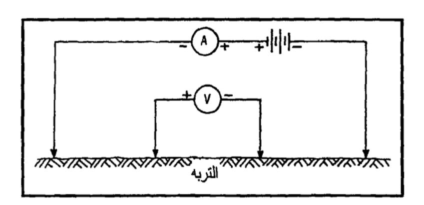
حيث P = المقاومة أوم – سم (Resistivity)

R = المقاوم بالأوم (Resistance)

L = الطول بالفلتميتر

A = المساحة سم2

الطريقة الأكثر استخداماً لقياس مقاومة التربة (Resistivity) تستخدم أجهزة لهـا دوائر لحث تيار مقاس بين خابورين (2 pins) الخارجيين وقياس التغير فى الفولت بين الخابورين الداخلين كما هو موضح فى الشكل (1/20). تم رسم دائرة تيـار مـستمر لتوضيح المبدأ، ولكن الأجهزة الحديثة تستخدم التيار المتغير وجهاز القياس يقرأ قـيم أوم–سم مباشرة.



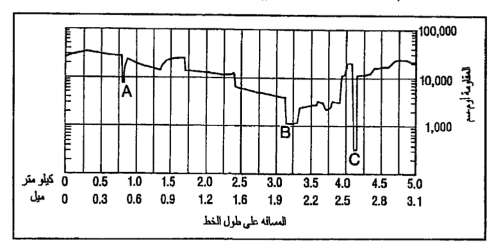
شكل (1/20) طريقة 4 خوابير لقياس مقاومة التربة

الشكل (1/21) يوضح مقاومة التربة على طول خط المواسير حيث تعبر كلاً من التربة الجافة والتربة السبخية المستنقعة. النقط ذات المقاومة المنخفضة وبذا احتمـال النقط الآنودية الساخنة موضحة عند C , B , A. فروق الجهد بين الماسورة التربة (P/S) القريبة من بعضها نتيجة العمل المساحى يوضح أقصى إرتفاعات للجهود متطابقة مع أماكن التربة ذات المقاومة المنخفضة بما يؤكد وجود النقط الساخنة. فمثلاً، المنقطـة آنودية ستكون حيث مقاومة التربة أقل من 5000 أوم–سم وجهود الماسورة/ التربـة (P/S) أعلا من –0,6 فولت مقابل قطب ($Cu/CuSO_4$). مقاومة التربة عـادة تجـرى

أولا، يليها الأعمال المساحية الجهد التربة/ الماسورة (P/S)، على الأقل خلال المناطق ذات أدنى مقاومة للتربة.

الاختبار الحقلى لمتطلبات التيار :

تتم حماية النقط الساخنة لخط المواسير الغير مغطى وذلك بربط الآنودات الجلفنية عند المناطق الآنودية المختارة ثم إعادة استطلاع الجهود على طول الخط. يتم إضافة آنودات إضافية عند الحاجة للحصول على شكل عام متجانس للجهد. تطور هندسى الموصى به حيث يلزم الحماية الكاملة للخط المغطى، هو بوضع طبقة آنود أرضية مؤقتة مع مصدر طاقة. ماكينة لحام ذات نوعية جيدة ذات أمبيرات خرج متغيرة تكون مصدر مناسب للطاقة. الطبقة الأرضية المؤقتة (للآنودات) قد تتكون من قطعة أو أكثر من ماسورة نظيفة (ذات قطر 5 – 10سم) مثبتة فى ثقب الحفر الذى يملأ بمياه البحر.



شكل (1/21) الشكل العام لمقاومة التربة على طول خط المواسير

يتم توصيل مواسير الطبقة الأرضية بسلك موصل بالطرف الموجب (+) لمصدر الطاقة والطرف السالب (–) يتصل بخط المواسير. الجهد المطلوب بمصدر الطاقة ليس هام. عادة يتم وضع الطبقة الأرضية 15 – 30 متر على جانب واحد من خط المواسير وعدد المواسير فى الطبقة الأرضية يمكن أن يتغير لخفض أو لزيادة سريان التيار. إجمالى سريان التيار (الأمبيرات) من مصدر الطاقة يتم ضبطه حتى الجهد (P/S) على خط المواسير يصل إلى مستوى الحماية مقابل – 0,85 فولت بالنسبة لقطب قياسى $Cu/CuSO_4$.

القاعدة العامة لتقدير متطلبات التيار على خط المواسير المغطى هى.

2 ملى أمبير × إجمالى المساحة السطحية لخط المواسير بالقدم المربـــع × 0.02 هذا الحساب يفترض أن 2% من مساحة خط المواسير يكون عارياً وغير مغطـــى أو مغطى بطريقة غير جيدة.

نظم الأنودات الجلفنية [الضحية] والتيار الحثى :

Sacrified – Impressed current systems

على خطوط المواسير وقيسونات الآبار حيث متطلبات إجمالى التيار تكون اكثـــر من 2 – 3 أمبير وكذلك المطلوب فرق جهد عالى لخفض عدد الطبقـــات الأرضــــية المطلوبة، يفضل عموماً نظم التيار الحثى عن الآنودات الجلفنية.

على العكس، فإن آنودات المغنسيوم يمكن أن تكـــون أفـــضل لحمايـــة خطـــوط المواسير التى بها تغطية جيدة فى الأماكن البعيدة حيث الطاقة الكهربية تكـــون غيـــر متاحة وحيث يصعب استخدام الطاقة الشمسية أو الحرارية الكهربية.

يتم وضع طبقات الأنود على طول خط المواسير عند مناطق آنودية تم تحديدها بالأعمال المساحية للجهد ما بين الماسورة/ التربة (P/S) وفى التربة ذات أدنى مقاومة.

آنودات المغنسيوم المنفردة يجب أن تكون بفاصل لا يقل عن 15 متر (50 قـــدم) للحصول على أكبر خرج للتيار. الآنودات ذات الفواصل المتقاربة والمزدوجة عـــادة يتم تجميعها فى طبقات (فى التربة ذات المقاومة المنخفضة) ولكن الخرج لكل آنود يتم خفضه بسبب تأثير التكدس. هذا موضح فى البيانات بالجدول (4/3). يمكن ملاحظـــة أن إجمالى خرج التيار لآنودات الطبقة الأرضية لا يزداد بسبب زيادة عدد الآنـــودات فى الطبقة. شركات خدمة الحماية الكاثودية تستخدم جداول كاملة ومخططات وبيانات لتصميم طبقات آنود المغنسيوم لمختلف أنواع التربة ولمختلف الفواصل بين الآنودات. يعتمد حجم ووزن الآنود أساساً طبقاً لعمر الخدمة المطلوب للطبقة قبل الحاجـــة إلـــى الاستبدال. قابلية وتكلفة الإنشاءات أو الاستبدال تلك كذلك عوامل هامـــة فـــى اتخـــاذ قرارات التصميم.

كما سبق توضيحه، تستخدم سبائك خاصة عموماً لإنشاءات الآنود الجلفنى علـــى المنشآت البحرية. لقد أثبت هذا النوع أنه مناسب واقتصادى فى المياه الضحلة نـــسبياً مثل خليج مكسيكو. فى المياه العميقة حيث متطلبات كثافة التيار تزيد عـــن 15 ملـــى

أمبير/القدم المربع، فإنه عادة يفضل استخدام نظام التيار التأثيرى فى نظـــم الحمايـــة الكاثودية لزيادة عمر الخدمة.

تم نشر تقنيات حديثة مساعدة فى عملية الحماية الكاثوديـــة للمنـــشآت البحريـــة باستخدام الكومبيوتر.

جدول (4/3) خرج التيار التقريبى لآنودات المغنسيوم

(1) عدد الآنودات	(2) إجمالى خرج التيار بالملى أمبير		
	وزن 17 رطل	وزن 32 رطل	وزن 50 رطل
1	100	116	130
5	320	373	416
10	480	557	624

1- أنودات المغنسيوم التجارية (H – I) بفواصل 3 متر.

2- بفرض مقاومة التربة 1250 أوم-سم

قيم الخرج تنخفض بنسبة 50% إذا كانت مقاومة التربة 3000 أوم-سم.

قيم الخرج تزداد بنسبة 125% إذا كانت مقاومة التربة 500 أوم-سم.

حماية الخزانات وأوعية معالجة الزيت :

القاع السفلى الغير مغطى لخزانات المياه، خزانات حفظ الزيت والأوعية المشابهة الذى يرتكز على الأرض يمكن حمايته عادة بأنودات المغنـــسيوم الجلفنيـــة. إجمـــالى مساحة القاع يتم حسابها ويتم وضع العدد الكافى من الآنودات (سواء المعبأة مسبقاً أو التى يتم إعداد طبقة الملئ حولها) فى التربة حول محيط الخزان لتوفير 8 – 10 ملى أمبير/ القدم المربع. التوصيل بالخزان يتم بأسلاك توصيل لكل آنود. يتم عادة قيـــاس خرج الآنود وضبطه بمقاومة متغيرة لزيادة عمر الخدمة للآنـــود. أعمـــدة النحـــاس المغطاة للأرضى (Grounding) لتفادى الصاعقة لا يتم استخدامها ذلك لأنها تولد حالة التصاق المعادن الغير متماثلة الغير مطلوبة.

داخل الخزانات المغطاة من الداخل يمكن كذلك حمايتها كاثودياً باستخدام آنـــودات المغنسيوم الغير مغطاة المعلقة فى كل غرفة. أسلاك التوصيل للآنـــود مـــن آنـــودات المغنسيوم المنفردة فى الخزانات الضخمة يتم عادة إدخالها معزولة من حائط الخـــزان العلوى أو من ظهر السفينة. الخرج لكل يتم عادة ضبطه بواسطة مقاومة فـــى الخـــط

لتوفير 2 – 3 ملى أمبير/القدم المربع)(21-33 ملى أمبير/المتــر المربــع) لــسطح الجدار المغطى جيداً.

آنودات التيار الحثى التى يتم تغذيتها باستخدام جهاز معــدل التيــار (Rectifier) تستخدم للخزانات الغير مغطاة وأوعية المعالجة. كل الأسطح المعدنية الملتصقة بجسم مستمر من المياه المالحة يجب أن تكون على خط البصر المباشر لما لا يقل عن واحد آنود . يجب وضع آنود واحد أو أكثر على كل جانب من حوائط الحجرة أو العوائــق (Baffles) لتجنب الحجب (Shielding). خرج التيار من آنودات التيار الحثى الموزعة فى غرفة الخزانات الغير مغطاة بمواد الحماية أو أوانى المعالجة (الغير مغطاة) يمكن ضبطه منفرداً أو أن التصميم قد يسمح انتظام سريان التيار من كــل . كثافــة التيــار المستخدمة يمكن أن تكون مثل 15 ملى أمبير/ القدم المربع (160 ملى أمبير/المتــر المربع) إذا كان الماء فى الوعاء حامضى أو محتوياً على H_2S.

الفصل الخامس

التغطية للحماية والبلاستيكات

مقدمة :

فى هذا الفصل سيتم تناول الآتى :

- أنواع البلاستيك ومواد التغطية المستخدمة فى عمليات حقول البترول.
- طرق تجهيز السطح.
- عمليات الاستخدام والتفتيش.
- أنواع مواد التغطية المناسبة لعمليات إنتاج البترول.
- الاختبارات.

الخطوات الرئيسية للحصول على طبقة تغطية جيدة وهى

- اختيار نظام التغطية المناسب.
- الإعداد الجيد للسطح.
- التطبيق الحذر لطبقة التغطية.

لهذا، فإن أنواع التغطية والبلاستيك المستخدمة كثيراً فى صناعة البترول تقع تحت ستة مجموعات. وهذه المواد هى التى تستخدم فى تغطية مهمات المواسير، الخزانات، والأوانى الأخرى والمنشآت مثل المنصات البحرية وهى كالآتى:

أ – ذات الأساس من الهيدروكربون.

- طبيعى (الأسفلت والماستك، الكولتار، الدهون).
- صناعى (بولى إيثلين، بولى بروبيلين، بيوتادداى اين ستيرين، اكريلونايتريل، بيوتاداى اين – استيرين (ABS)).

ب– الراتنجات أو البلاستيك

الايبوكسيات، الأكليريك، البولى يوريثين، الفينولات، البولى ايستر، المطاط المكلور، زيوت الجفاف.

جـ- المجموعات : الكولتار أيبوكسى.

د - المعدنية:

(1) مسوق الزنك، مادة الربط الغير عضوية، مادة الربط العضوية،

(2) مصهور، ألواح أو مرسب كيماوياً ، الومنيوم، نيكل، صلب مقاوم، زنك.

هـ - التغليف بالأسمنت والخرسانة.

و - مواد مركبة غير عضوية (السيراميك - الزجاج، السليكونات).

مختصر لخواص البلاستيك ومواد التغطية :

أ - ذات الأساس من الهيدروكربون:

المعدنية .

أ - مسحوق الزنك.

- مادة ربط عضوية.
- مادة ربط غير عضوية

ب- مصهور، ترسيب كهربى أو كيماوى

- الألومنيوم.
- النيكل.
- الصلب المقاوم.
- الزنك (الجلفنة)

التغطية بالمونة الأسمنتية أو الخرسانة

المواد المركبة (الغير عضوية)

أ- السيراميك - الزجاج.

ب- السيليكونات.

خواص الأنواع العامة :

الخواص الكيماوية وتفاصيل المكونات لكل أنواع البلاستيك ومواد التغطية كثيرة جداً. ولكن سيتم تناول طبيعتها الأساسية وخواصها وذلك لكل نوع.

أ- ذات الأساس من الهيدروكربون طبيعى (Hydrocarbon base – Natural)

كما هو واضح من الاسم، فإن هذه المواد تكون أساس ذات سلسة هيــدروكربون متكررة.

- $CH_2 – CH_2 – CH_2$ (Alkyl)

And

(حلقه البنزين $–C_6H_6$)

مخلفات الأسفلت من عمليات تقطير البترول والكولتار (قطران الفحم) من الفحــم هو من المواد المألوفة، بالإضافة إلى الوزن الجزيئى العالى للهيدروكربونات، فإن هذه المواد الطبيعية تحتوى على مجموعات مختلفة من الأكسجين، النيتروجين، الكبريــت والتى تؤثر على إذابتها، وكذلك على نقطة الانصهار، ومقاومــة الأكــسدة والتحلــل البكتيريولوجى.

مواد الاسفلت والكولتار لها تاريخ طويل فى الاستخدام لحماية خطوط المواســير المدفونة وقيعان الخزانات، وهذه عادة يتم استخدامها وهى فى الحالة المنصهرة ويــتم تقويتها بلفائف من نسيج الصوف الزجاجى. وبعضها يتم استخدامها بتبخيــر المــذيب وذلك فى حالة عمل طبقة تغطية رقيقة.

يعتبر طلاء الكولتار أفضل من طلاء الأسفلت بالنسبة لخطوط المواسير المدفونــة بسبب المقاومة العالية لاختراق الرطوبة وكذلك المقاومة العالية للتحلل. وقــد أثبــت الأسفلت كفاءة فى الاستخدام بالنسبة للأسطح الداخلية لخزانات المياه وكذلك لخطــوط المواسير البحرية. خطوط المواسير الغاطسة يتم تغطيتها بطبقة أساس من الأسفلت ثم بطبقات متتالية من الأسفلت الساخن ونسيج من الصوف الزجاجى، حيث تكون طبقــة التغطية الخارجية بسمك 7 – 9 مليمتر. يمكن استخدام غطاء خارجى من الخرســانة وذلك للوزن. عادة تتم الحماية الكاثودية لخطوط المواسير البحرية بــآنودات الزنــك الحلقية (Bracelet).

ب- ذات الأساس من الهيدروكربون المخلق: (Hydrocarbon base snthetic)

وهذه تصنف كمواد بلاستيك مصنعة وليست طبيعية. بناؤها الرئيسى هو تكــرار مجموعات الكربون – الهيدروجين والتى يمكــن أن تفــصل بعــضها أو أن تتبلمــر

(Polymerize) بالحرارة، والضغط وباستخدام عامل تحفيز (Catalyst). مونــوميرات البداية (Monomers) هى عموماً إما الرباط المزدوج (Double Bond) بين الكربـــون الذى ينفصل ويتصل ليكون سلاسل طويلة من الهيـــدروكربون (Long Chains Hydro carbons). هذه السلاسل تتشابك كذلك مع بعضها البعض لتكوين شبكات ذات الثلاثـــة أبعاد وبذا يحدث التجميد (Solidify). البولى إيثلين والبولى بروبلين (وهذه تسمى كذلك البولى الكيلينز والبولى أوليفينز (Polyalkylenes Polyolefins) وهذه عادة يتم تشكيلها بالبثق إلى أشرطة رقيقة أو إلى أفرخ أو صفحات (Sheets). وهذه استخدامها للتغطية على جانب واحد باستخدام مادة اللصق (Adhesive) حيث تــتم التغطيـــة والتغليـــف ميكانيكيا على أسطح المواسير.

إثيلين:
H H
| |
C — C
| |
H H

بروبيلين:
CH_3 H
| |
C = C
| |
H H

إستيرين:
H H
| |
C = C
| |
H C_2H_5

إن سهولة استخدام وملاءمة لف الأشرطة كان السبب فى انتشار استخدامها. ولكن الأشرطة تفقد الالتصاق مع الوقت. وهذا الفشل يعود إلى رداءة مادة اللصق أو لعـــدم الإعداد الجيد للسطح قبل استخدام الأشرطة.

التغطية المؤثرة والتى تستمر لمدة طويلة على المواسير لدرجات حـــرارة حتـــى 85°م يتم عملها ببثق البولى أليفنز (Polyolefins) فى شكل أكمام (Sleeves) ذات سمك من 0.6 إلى 0.8 مليمتر. يتم لصق هذا الكم الأسطوانى باستخدام مادة لصق بـــسمك مليمتر من لاصق بيوتيل المطاط الماستك (Butyl Rubber Mcestic). عمليـــة تغطيـــة السطح يجب عملها تحت ظروف إحكام جيدة فى مواقع إنتاج الماسورة.

3- الراتنجات أو البلاستيكات المعقدة : (Resins or Complex plastics)

التنوع الكبير للمركبات العضوية يمثـــل بـــالمواد الموضـــحة. الفينيـــل (Vinyls) والأكليرك (Acrylics) هما أبسط هذه المجموعة بالنسبة للتركيب الكيمـــاوى. كلاهمـــا يتبلمر (Polymerize) بطريقة الرباط المزدوج (Double bond) بين الكربون والكربون والذى يشابه البولى ألكيلينز (Polyalkylenes). الخواص والثبات لهم نتيجة الاســـتبدال

على الكربون. فمثلاً، نوعين من راتنجات الفينيل العادى هما بولى فينيل كلوريد (PVC) وبولى فينيل أسيتيت (PVA)، والذى يتم تكوينهم من المونومرات

$CH_2 = CH\ CO_2\ CH_3$ فينيل أسيلتيت

$CH_2 = CHCl$ فينيل كلوريد

بويات الفينيل والأكليرك عادة يتم إعدادهم واستخدامهم فى عمل غطاء رقيق للحماية من العوامل الجوية. الفينيل يفضل خصيصاً كطبقة طلاء خارجية (Topcoat) فوق طبقة البطانة الغنية بالزنك. عادة على المنشآت البحرية والكبارى طبقة الطلاء الخارجية من الفينيل تستمر لمدة من 5 – 8 سنوات.

طلاءات الفينيل والأكليرك تجف عادة بتبخير المذيب. بعد الجفاف تصبح بدون رائحة، وغير سامة وغير قابلة للاشتعال ولها مرونة جيدة ومقاومة للاحتكاك. يستخدم الفينيل كذلك كمحلول غروانى لدن (Plasticols) لتكوين طبقات تغطية كثيفة وقوية على الأجهزة خاصة المعدات.

بلاستيك (PVC) المحتوى على مواد ملئ مثل الطفل أو السليكا يتم تشكيلها فى شكل مواسير لنقل المياه. حدود درجة الحرارة العادية لماسورة البلاستيك من البى فى سى هو 60°م. ولكن البى فى سى المكلور (CPVC) يمكن استخدامه حتى 80°م.

الفينولات هى ناتج التفاعل بين الفينولات والألدهايدز (Aldhydes) وعادة يتم إعدادهم مع زيوت الجفاف. الشك والجفاف للفينولات بدون مذيب يتم ببلمرة الزيت. الطبقة من الطلاء تكون صلبة وقوية. ولها مقاومة عالية للقلويات وقوة بلل ضعيفة تستخدم الفينولات بالتسخين ثم التغطية بالإيبوكسيات لتحسين المقاومة ضد القلويات مثل طفلة الحفر (Drilling Muds).

البولى أيسترز (Polyesters) :

وهذه تصنع بالتفاعل ما بين Polyhydric alcohols poly basic acids وذلك فى وجود الحرارة وعامل وسيط. وهذا هو مثال لعملية البلمرة المكثفة (Condensation polymer).

فثاليك أنهيدريد   +   جليسرين   +   فثاليك أنهيدريد

ألكيدريزين . (Alkyd Resin)

بولى ايستر الكيد ريزن ويسمى جلبتال Polyester alkyd resin (Glyptal)

الخواص :

- جليبال مادة قوية ومقاومة للتآكل.
- مقاومة للأحماض.
- ذات ثبات بالنسبة للأبعاد.

الاستخدام :

تستخدم هذه المادة (الكيد ريزن) لصناعة أجزاء الطائرات والعربات فى عمل التروس والملامسات.

فى عمل عوازل قاطعات التيار.

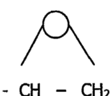
البولى يوريثين (Polyurethanes)

البولى يوريثين زاد استخدامها كمادة تغطية وخاصة فى التطبيقات التى تتطلب مقاومة البرى بالاحتكاك (Wear). وهى عادة تستخدم طبقة طلاء أخيرة. المقاومة الكيماوية جيدة ولكن لها بعض ا لحساسية نحو القلويات. وهى تميل إلى الشكل الطباشيرى (Chalk) فى الجو ولكن عموماً تظل أكثر مرونة مقارنة بالأيبوكسى.

الأيبوكسيات : (Epoxies)

الايبوكسيات بأشكالها المختلفة ربما تكون أكثر مواد التغطية فى الصناعات البترولية. البناء الأساسى للراتنج معقد إلى حد ما، يتكون من حلقات الهيدروكاربون المتكررة المتصلة بالأكسجين. المجموعة النشطة التى تنطلق لتكوين رباط الإيثير الأكسجين هى :

مجموعة الأيبوكسيد



$- CH - CH_2$

راتنجات الأيبوكسى وحدها هى من النوع الثيرموبلاستك (تتصهر عند التسخين) ولا تكون طبقة جيدة. لذلك فإنها دائماً تختلط مع عامل إنضاج أو تشابك (Cross linking) مثل الأمينات (Amines)، البولى أميدز، الأنهيدريدز، الأكثر استخدام هو عامل الانضاج (Curring Agent) من البولى آمين لبويات الأيبوكسى نظراً لأنه يزيد من عمر الطلاء وهو غير سام نسبياً.

عموماً، طلاءات الأيبوكسى تعتبر محببة لقوتها ولمقاومتها للماء. وهى كذلك تقاوم القلويات، المذيبات ومعظم الكيماويات.

يستخدم للطلاء عبوتين أحدهما تحتوى على راتنج الأيبوكسى والأخرى تحتوى على عامل الإنضاج. عمر الخدمة بعد الخلط يختلف طبقاً لعامل الانضاج، المذيبات ودرجة الحرارة المنخفضة (من صفر إلى 5°م) تبطئ الانضاج حيث تمام الانضاج يتطلب أسبوع أو أسبوعين حتى عند 25°م. بعض الحالات يتم الانضاج بقوة والجفاف وذلك بالتسخين عند درجة حرارة حتى 85°م.

مكونات خاصة لطلاء الماسورة فى المصنع تستخدم خليط من الأيبوكسى وثيرموسيت (Thermosetting) الذى ينصهر وينضح مباشرة على المعدن الساخن.

الأيبوكسيات تتفاعل مع مكونات الكولتار لتكوين نوع من البوليمر. وهذه هى الكولتار إيبوكسى والتى تستخدم لطلاء التغطية للمواسير والخزانات. خواصها متغيرة بسبب تغير الكولتار، وهى ليست مفضلة مثل الأيبوكسى والبولى ايستر (الثيرموسيت). بلاستك الأيبوكسى يستخدم كذلك فى صناعة المواسير والخزانات بسبب مقاومته الكيماوية. عادة يتم تسليح الماسورة بشعيرات ملفوفة من الصوف الزجاجى فى جدار الماسورة وطبقة ناعمة من بلاستك الأيبوكسى فى الداخل. ماسورة الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى ذات النوعية الجيدة ذات قطر إسمى من 2 إلى 4 بوصة ويمكن أن تتحمل ضغط حتى 2500 رطل علىالبوصة المربعة وعند درجة حرارة حتى 65°م. مواسير ذات قطر أكبر من راتنجات (Bisphenol -A) لها مقاومة عالية للقلويات عند درجة حرارة حتى 120°م. وهذه تستخدم فى بعض الحالات مثل أحواض البلاستيك المقواه بالصوف الزجاجى وكذلك فى صناعة المواسير للاستخدام فى عمليات تكرير البترول وفى الصناعات الكيماوية.

راتنجات (Ispophthalic) تستخدم فى المواسير المقواه بالصوف الزجاجى والخزانات والتبطين وخاصة فى مجالات المياه العدوانية.

راتنجات الفيورين (Furan) لها مقاومة جيدة للزيوت والمذيبات الكيماوية. وهى تستخدم مع الصوف الزجاجى لقلويات معينة أو فى المجالات الحامضية حيث لا يكون من المناسب استخدام الأيزو فثاليك أو البلاستيك البولى إيستر.

4- التغطية المعدنية : (Metallic coatings)

التغطية المعدنية بالصهر أو التغطية بشريحة أو الترسيب الكيماوى. الجلفنة بالغمر فى الزنك المنصهر تستخدم للحماية من العوامل الجوية لبعض الأجزاء السابقة الصنع. وهى عموماً غير مناسبة فى حالة غمر المعدن المجلفن فى المياه المالحة.

يستخدم الترسيب الكيميائى للمعدن مثل النيكل، ولكن نظراً لاختلاف نوعية التغطية فقد يحدث تآكل جلفنى حاد لمعدن الأساس من الصلب فى حالة وجود خدش أو تلف فى طبقة التغطية من النيكل.

قد يستخدم المعدن المنصهر أو الرش بالبلازما مثل سبائك الصلب المقاوم من الكروم – النيكل لمقاومة الاحتكاك كما فى حالة عامود السحب (Sucker rod) أو فى حالة الربط بين

جزئين من الآلة (القارنة Coupling). ولكن فإن وجود خلية جلفنية محلية سيكون مشكلة. أعمدة السحب المغطاة بالصلب المقاوم عادة يتم تغطيتها بالأيبوكسى.

الأسطح المعرضة للبلى والتى يتم تغطيتها بالصلب المقاوم أو بسبائك عالية الكروم تستخدم فى أجزاء الطلمبات.

التغطية بمعدن الألومنيوم تستخدم فى المبادلات الحرارية والأوعية المعرضة للغازات الساخنة المحتوية على مركبات الكبريت. خليط الزنك والألومنيوم الذى يتم استخدامه بالرش على الساخن يمكن أن يوفر حماية أفضل من أى من المعدنين منفرداً. أفضل التطبيقات الواعدة هى التعرض للجو فى مجال بحرى ولكن الخبرة مازالت محدودة.

5- التغطية المعدنية – بالزنك : Metallic coatings – Zinc rich

مادة التغطية هى المحتوية على 60 – 75% من مسحوق الزنك فى الطبقة الجافة. الزنك ومادة الربط يعملا كحائل ضد تسرب بخار الرطوبة والأملاح فى البيئة البحرية. بالإضافة إلى أن الزنك يتآكل كضحية فى سبيل حماية الصلب عند وجود تشققات أو خدوش. لهذا السبب فإن الطلاءات الغنية بالزنك تستخدم عالمياً لحماية المنشآت البحرية مثل الأرصفة البحرية.

أفضل أسلوب للاستخدام هو كتغطية أولية (بطانة Prime coating) فوق سطح الصلب الذى تم إعداده بالرمالة. طبقة التغطية المحتوية على مواد التعتيم من الفينيل أوالأيبوكسى أو البولى يوريثين أو الأكليرك يتم بعد ذلك استخدامها. طبقات التغطية النهائية من الألكيد (Alkyd top coats) لا يتم استخدامها نظراً لأنها تنفصل عن طبقة البطانة من الزنك. الاستخدام المحدود بطبقة التغطية الأخيرة الغنية بالزنك هو فى حالة الغمر فى الماء.

يستخدم نوعين من مواد الربط (Binders) لمسحوق الزنك هما.

- السليكات العضوية أو الغير عضوية.
- الراتنجات العضوية مثل الفينيلات، المطاط المكلور أوالأيبوكسى.

مادة الربط من السليكات الغير عضوية تتطلب الإنضاج بطبقة الطلاء (Curring) بعد تنفيذها، وذلك بواسطة حامض الفوسفوريك الكحولى. مادة الربط من السليكات العضوية هى ذات إنضاج ذاتى وذلك بامتصاص الرطوبة. مواد الربط العضوية مثل المطاط المكلور هى ذات إنضاج ذاتى وذلك من خلال تبخر المذيب.

الجدول (5/1) يوضح خواص أربعة أنواع من مادة البطانة الغنية بالزنك. رغم بعض الاعتراضات، فإن التغطية الغنية بالزنك يتم استخدامها دائماً لتحقيق أفضل النتائج على

الأسطح البيضاء التى تم إعدادها بالرمالة (Sand Blasted). يستخدم لإعداد السطح الماء عند ضغط 20000 رطل/البوصة المربعة والذى يوفر سطح مقبول.

السبب الرئيسى لتلف طبقة التغطية (البطانة) الغنية بالزنك على السطح المعد جيداً هو نتيجة عمل طبقة التغطية النهائية مباشرة قبل إعطاء الوقت الكافى لطبقة البطانة لتجف. أحد المميزات لمادة البطانة الغنية بالزنك هى أن طبقة التغطية النهائية يمكن تأخيرها عدة أسابيع أو أشهر.

جدول (5/1) أنواع البطانة الغنية بالزنك على أسطح الصلب

النوع	الخواص
1- A	الحامل من السليكات الغير عضوية. يستخدم كطبقة واحدة ولكن يتطلب معالجة كيماوية بعد الاستخدام للإنضاج. يستخدم فوق 10^5م.
1- B	الحامل من السليكات الغير عضوية ذات الإنضاج الذاتى يستخدم فوق °10م. لا يوجد تآكل أو خدوش أسفل الطبقة.
1- C	مواد الحمل (Vehicles) الغير عضوية ذات الإنضاج الذاتى. تتطلب رطوبة عالية لتنضج. يمكن أن تستخدم عند صفر درجة مئوية.
2	مختلف مواد الحمل العضوية: ▪ الايبوكسى بولى أميد: عموماً أفضل مادة عضوية يتقبل طبقة تغطية نهائية من الأيبوكسى أو البولى يوريثين فى خلال 12 – 24 ساعة. ▪ الفينيل : مرونة جيدة والتصاق جيد. فى حالة الغمر فى الماء مع طبقة تغطية من الفينيل. المطاط المكلور: مرونة جيدة سهل استخدامه بالفرشة. تكون طبقة رقيقة. مقاومة الاحتكاك ضعيفة.

6- التبطين بالمونة الأسمنتية والتغليف بالخرسانة :

Cement linings and concrete sheathing

التبطين بالمونة الأسمنتية للسطح الداخلى لمواسير الصلب جيد جداً للحماية الداخلية من التآكل للمواسير المستخدمة فى تداول المياه المالحة العدوانية. والأسمنت يجب أن يكون من النوع المقاوم للكبريتات. يتم تنفيذ البطانة من المونة الأسمنتية على السطح الداخلى للماسورة بالطرد المركزى وذلك لتوحيد السمك والكثافة. وسمك البطانة يتراوح ما بين 3 إلى 30 مليمتر لقطر ماسورة من ″2 إلى 20 بوصة

بالتتالى. القلوية فى المونة الأسمنتية تساعد فى حماية السطح المعرض للصلب . تستخدم الخرسانة فى الحماية الخارجية لقيسونات البئر، وفى حماية الدعائم البحرية والمنشآت المدفونة الأخرى. المونة الأسمنتية أو الخرسانة المشبعة بالماء سوف تكون موصلة للكهرباء، ولذلك فإن الصلب المغطى بما فيه أسياخ التسليح يمكن أن يحدث له تآكل إليكتروليتى. يوصى بالحماية الكاثودية للصلب المغطى وذلك للمنشآت الحساسة. ولكن التغطية لكل الطول بالأسمنت هى أفضل طريقة متاحة للحماية الخارجية، سواء بالحماية الكاثودية أو بدونها.

7- المواد الغير عضوية المركبة : Composite inorganics

من ضمن هذه المجموعة عديد من التغطية من السيراميك أو التغطية الزجاجية والمواد الحرارية. أفضل استخدام لها هو لمنع البلى وحماية الصلب عند درجات الحرارة العالية. تستخدم بلمرات السليكون فى بويات درجات الحرارة العالية للاستخدام على الصرف الساخن للمداخن.

8- الطلاءات التحويلية : (Conversion coatings)

المجموعة الأخيرة من مواد التغطية التى يجب ذكرها هى تلك التى تصمم للاستخدام على صدأ أسطح الصلب. المركبات العضوية والغير عضوية من مختلف الأنواع تم استخدامها لهذا الغرض.

وهذه توصف بأن لها القدرة على الاتحاد مع الصدأ وتحويله مكون ضمن طبقة التغطية النهائية الجافة. المكونات القديمة كانت تحتوى على الزيوت الغير مشبعة، مثل زيت بذر الكتان أو زيت السمك والتى تتبلمر بأكسدة الهواء. حالياً تستخدم راتنجات مخلقة ذات كيماويات ترتبط مع الصدأ. هذه المواد مفيدة فى الحماية المؤقتة أو فى الاستخدام حيث يصعب طبيعياً إعداد سطح المعدن بالترميل أو بأى طريقة أخرى مناسبة لإعداد السطح. ولكن كقاعدة عامة فإن نظام التغطية التقليدى الذى يتم على سطح الصلب النظيف يوفر حماية اقتصادية لمدة طويلة.

نظم التغطية والمصطلحات :

نظم التغطية هى مجموعة من السماكه الموصفه وطريقة الاستخدام. نظام الجزئين يتكون من البطانة (Primer) وطبقة التغطية (Top coat) وهو العادى. بعض النظم تستخدم طبقة متوسطة أو ما تسمى بطبقة الربط لتساعد فى التصاق طبقة التغطية.

يمكن استخدام طبقتين أو ثلاث للتغطية بالتتالى، وبذا يتكون خمسة أو ستة مكونات للنظام.

الآتى مثال للنظم المستخدمة وذات تأثير جيد فى البيئات البحرية.

1. بطانة غنية بالزنك بسمك 70 إلى 116 مليمتر.

طبقة من الأيبوكسى 116 – 230 مليمتر

2. بطانة غنية الزنك بسمك 70 إلى 116 مليمتر

طبقة من الأيبوكى 116 – 230 مليمتر

طبقة تغطية من البولى يوريثين 45 – 70 مليمتر

فى بعض النظم، يستخدم طبقة رقيقة من البطانة المثبطة أولا (طبقة الغسيل) لتثبيت سطح المعدن الذى تم تنظيفه ضد الأكسدة. توجد اختلافات حول تأثير هذه فى التطبيقات الحقلية. أنواع جديدة من بطانة الغسيل (Wash primers) التى تعمل على تحويل طبقة التغطية بالتفاعل مع طبقة الصدأ تزيد من عمر التغطية وذلك عند استخدام طبقة التغطية من الفينيل فوق السطح الصدئ الذى عولج بالفرشاة اليدوية. بطانة الغسيل من الفينيل هى تلك المحتوية على حامض الفوسفوريك حيث تستخدم لمعالجة الصلب المجلفن قبل عمل طبقة التغطية. الإناميل (Enamel) هو الاسم التقليدى لطبقات التغطية التى تتكون بالنضج (Curing) أى بالبلمرة فى مكانها.

طرقة إعداد سطح الصلب قبل الطلاء :

إن النظافة الغير جيدة أو الغير تامة هى المسببة لمعظم التلف لنظم التغطية أكثر مما يسببه ضعف نوعية مادة الطلاء والتغطية. الخط الإرشادى العام هو أن أى شئ يتطلب الطلاء فإنه يستحق تكاليف التحضير الجيد للسطح.

الجدول الآتى موجز لطرق إعداد السطح

الطريقة	النتيجة
النظافة بالمذيب	الغمر أو الغسيل بالنافتا، الكحول، كحولات معدنية الخ.
النظافة اليدوية	استخدام أدوات يدوية، استخدام فرشة سلك والكشط. الصدأ الملتصق لا يزال بهذه الطريقة
النظافة بأدوات الطاقة	الترميل، الكشط بالجلخ.
النظافة باللهب	اللهب المباشر يتحرك باستمرار على السطح ليسبب تفكك وسقوط الصدأ.
السفح للمعدن الأبيض	يزيل أى شئ حتى المعدن الأساسى للحد الذى لا يحدث أى تغير فى المظهر.
النظافة والسفح بالفرشاة	يزيل فقط الصدأ، الأوساخ، البوية المفككه وبعض نواتج التآكل، الصلب الملتصق لا يزال.
المعالجة بالحامض (Pickling)	الغمر فى الأحماض المخففة.
التعرض للظروف الجوية والنظافة	يسمح للسطح بالصدأ الشديد ثم يلى ذلك الإزالة بالفرشاة أو بالسفح بالرماله.

تنفيذ طبقة التغطية والتفتيش :

يجب أن يقوم بالعمل الشخص المدرب وطبقاً للخطة محددة وكذلك التفتيش أثناء وبعد التنفيذ. الآتى بعد بعض الخطوط الإرشادية.

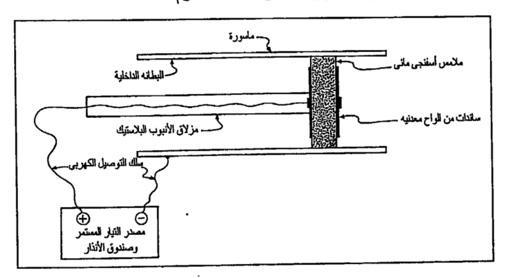
1. يتم التفتيش على السطح لتأكيد إعداده جيداً – لا توجد وساخات، ولا رمال، أو صدأ، أو مخلفات التشغيل.
2. يجب أن يكون السطح خالياً من الرطوبة أو الندى. طلاء سطح مبلل يجب عدم السماح به. درجة الحرارة هامة، الخطورة عند درجة حرارة 4°م، خاصة فى حالة نزول درجة الحرارة. ودرجات الحرارة المرتفعة مطلوبة وضرورية لبعض أنواع الطلاءات، مثل تلك ذات الأساس المائى وكذلك الأيبوكسيات.
3. يجب الخلط الجيد للبوية واستخدامها بالطريقة الصحيحة. إذا كان المطلوب تخفيف فإن مادة التخفيف يجب أن يكون توصيفها بواسطة المنتج.
4. فى حالة الأيبوكسيات أو الطلاء من مادتين، يجب ملاحظة الوقت اللازم للاستخدام بعد خلط المادتين. استخدام المادة بعد فترة زمنية أطول من المسموح بها ينتج عنه التصاق ضعيف أو التلف .

5. يجب الحصول على السمك المناسب للطبقة (قبل الجفاف وبعد الجفاف) كما أن الطبقة يجب أن تكون خالية من تفويتات الطلاء والثقوب وأى عيوب أخرى. النهايات الحادة، المسامير، البرشام .. الخ، يصعب حمايتها لذلك يجب أن يعطى لها حماية زائدة وتفتيش دقيق.

6. المستخدم يجب أن يكون على دراية كاملة بما يقوم به وإلا فإنه يتم تدريبه جيداً على هذا العمل.

يجب أن يقوم بالمراجعة والاطمئنان على سلامة التنفيذ من له خبرة فى هذا العمل، حيث يجب مراجعة سمك الطبقة قبل الجفاف وأن التغطية تمت طبقا للمواصفات. الطبقة الجافة يجب أن تكون متجانسة وجيدة. توجد أجهزة قياس بسيطة لهذه القياسات.

يتم اختبار طبقة التغطية سواء التى تمت فى المصنع أو فى الموقع وذلك بالنسبة للثقوب الصغيرة والنقط الصغيرة باستخدام جهاز القياس بالمقاومة الكهربية. مخطط لجهاز الاختبار موضح فى الشكل (1/22). مصدر الطاقة يوفر فرق جهد حتى 90 فولت (عادة 67.5 فولت) عبر الطلاء بواسطة قطعة من الإسفنج المبلل بالماء بين أسطح المعدن فى نهاية ماسورة من البلاستيك . مع دفع الإسفنج المبلل خلال وصلة الماسورة مغطاة من الداخل، يتم تنشيط إنذار فى جهاز الكشف عند أى نقطة بها ثقب حيث المقاومة الكهربية تكون أقل من 80000 أوم.



شكل (1/22) جهاز الكشف عن الثقوب فى البطانة الداخلية للمواسير

كفاءة الاختبار والتفتيش المعملى :

اختبارات معينة يمكن تنفيذها معملياً وذلك للتقييم والمقارنة بين نظم التغطية المختلفة فى ظروف بيئية معينة وكذلك لاختبار خواص طبقة التغطية. بالإضافة إلى أن بعض الاختبارات تجرى لمحاكاة حالات التعرض. فمثلاً، مقطع صغير لماسورة مغطاة من الداخل يتم توصيله على التوالى فى دائرة مقفلة مع التدوير للمياه المالحة. النتائج توضح مدى الكفاءة للاستخدام فى خطوط التدفق وآبار الحقن. كذلك تصنع خلايا اختبار من وصلات صغيرة للمواسير المبطنة من الداخل، حيث تملأ بالماء والمكثف المشبع بغاز الإنتاج والتسخين لدرجة حرارة البئر كاختبار لكفاءة العمل أسفل البئر فى حالة آبار الغاز. يمكن اختبار عدة قطع اختبار فى نفس الوقت قدر بالتسخين والضغط المرتفع. كذلك الكشف البصرى المباشر للتشققات وعدم الالتصاق، بعد التعرض هو دليل جيد لمدى الكفاءة.

التفكك الكاثودى وإجهاد التربة – لطبقة التغطية الخارجية :

الحماية الكاثودية ومقاومة التغطية الخارجية للماسورة لإجهاد فرق الجهد (Voltage stress). عندما تكون الماسورة المغطاة تحت الحماية الكاثودية فإنه تتكون قلوية الايدروكسيد (OH) على المناطق المشكوفة من الصلب. يحدث ذلك حتى لو كان جهد الماسورة لا يزيد عن – 0.85 فولت مقاساً بقطب قياسى النحاس / كبريتات النحاس. القلوية العالية فى ثقوب وتفويتات الطلاء تأثيرها قليل على التغطيات العادية للمواسير مثل طلاءات الكولتار، ولكن يمكن أن تسبب تلف وتفكك للمواد الحساسة للقلويات مثل افينولات والبولى إيستر.

تأثير آخر للحماية الكاثودية الذى يمكن أن يسبب فقد موضحى للالتصاق أو حدوث التفكك لطبقة التغطية عند الثقوب أو تفويتات الدهان هو تولد غاز الهيدروجين (H_2). الدراسات الحديثة أظهرت أن تصاعد الهيدروجين يبدأ عند جهد (Of Potential) – 1.12 فولت مقاساً بقطب نحاس/ كبريتات النحاس ويصبح عنيفاً عند – 1.17 إلى –1.22 فولت. جهد الفتح (On Potential) وهو الجهد المقاس مع استخدام التيار لا يعتبر مؤشر مقبول لتصاعد الهيدروجين. طبقاً للمعلومات المتاحة يبدو أنه من المفضل تجنب الإفراط فى الجهد العالى بين الماسورة/ التربة على المساورة المغطاة. الجهود العالية التى يمكن أن تسبب تفكك طبقة الطلاء يحتمل حدوثها قريباً من جهاز معدل التيار (Rectifier) أو أى مصدر آخر لتيار التغذية المستمر.

مصدر آخر لإجهاد طبقة التغطية الذى يمكن أن يسبب التفكك هو الانكماش للتربة الغنية بالطفلة أثناء فترات الجفاف. معظم نظم التغطية للمواسير تستخدم شرائط نسيجية ملفوفة حول الماسورة لتقوية طبقة التغطية مع استخدام إضافات الالتصاق لتحقيق الالتصاق مع الصلب. شرائط البلاستيك بدون تقوية من المنسوجات حساسة للتفكك بفعل إجهاد التربة، خاصة إذا كان اللصق من النوع الغير جيد أو بطبقة رقيقة. طبيعى إجهاد التربة ليس مشكلة فى حالة المواسير المغمورة فى الماء.

أنواع التغطية المقترحة لعمليات إنتاج البترول :

الجدول الآتى يوضح بيان بمواد التغطية التى أعطت كفاءة جيدة فى مختلف الاستخدامات الحقلية. ونوع التغطية هو المكون الرئيسى، وكل يتكون من مكونات عديدة مثل البطانة (Primer)، طبقات الربط، طبقة الطلاء الأخيرة .. الخ. ولكن البيان يفيد كدليل عام فى التغطية لتطبيقات معينة.

التغطية لاستخدامات حقلية معينة :

الاستخدام	التغطية المقترحة
* التغطية الداخلية لمواسير الآبار وخطوط التدفق.	الفينولات على الساخن الأيبوكسيات الملتصقة بالانصهار.
* السطح الخارجى للماسورة (مدفون أو مغمورة).	طلاء الكولتار فينولات – إيبوكسى (الالتصاق بالصهر) طبقة من الخرسانة – الأسفلت.
الأسطح المعرضة للمجال الجوى (منشآت – أوعية)	زنك مع الأيبوكسى، طبقة تغطية من الاكليرك والفينيل. اليوريثين البولى استر.
* الأسطح الداخلية للخزانات	البولى استر مع طبقة من الصوف الزجاجى فوق طبقة البطانة من الايبوكسى.
* وصلات المواسير ومواسير الرفع (البحرى)	اكمام تغطية من البولى ألكينز مع مادة لصق. طبقة تغطية من الخيش المشبع بالكولتار على الساخن.

الفصل السادس

إزالة الغازات العدوانية – الطرق الكيميائية والميكانيكية

1ـ مقدمة :

معظم تآكل معدات الإنتاج يكون بسبب الماء المحتوى على غازات مذابة منها كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وثانى أكسيد الكربون (CO_2) والأكسجين (O_2) أو مجموع هذه الغازات العدوانية.

فى بعض الحالات، يمكن إيقاف التآكل أو خفض معدلة إلى مستوى مقبول بإزالة الغازات العدوانية المسببة للمشاكل. وهذه طريقة مجدية لمعالجة المياه السطحية المهواه قبل الحقن الجوفى سواء فى آبار الحقن أو لمياه التغذية للغلايات. إزالة الهواء أو إزالة الأكسجين المذاب مفيد كذلك لسوائل الحفر. إزالة الغازات الغير مرغوب فيها يتم بالآتى :

1. التجريد (Stripping) بالتدفق المعاكس بغاز خامل (غاز طبيعى أو غاز عادم).
2. إزالة الغازات بالتفريغ (Vacuum).
3. المعالجة الكيميائية.

نظرياً أى من الغازات العدوانية يمكن إزالته باستخدام بعض من الطرق التى سبق ذكرها. ولكن الناحية الاقتصادية عادة تحدد طريقة الإزالة للأكسجين المذاب نظراً لكونه الأكثر خطورة، وإذابته محدودة فى الماء ويمكن التخلص منه بسهولة. ولكن توجد استثناءات وبيانات عن الإزالة لكل الغازات الثلاث والتى سيتم تناولها.

1 – كبريتيد الهيدروجين (H_2S) :

كبريتيد الهيدروجين أكثر إذابة عن الأكسجين بحوالى 200 ضعف وأكثر إذابة عن ثانى أكسيد الكربون بحوالى ثلاث أضعاف. عند عمل فقاعات من غاز الميثان أو أى غاز خامل آخر خلال ماء حامضى محتوياً على كبريتيد الهيدروجين فإنه يتم إزالة (تجريد) جزء فقط من (H_2S). السبب هو أن جزء فقط من H_2S يوجد فى المحلول كغاز جزيئى (H_2S) أما الباقى فهو أيونات (HS) لا تتبخر فى المياه الحقلية المتعادلة

(الغير حامضية)، تقريباً حوالى 50% من H_2S يكون من الشكل الأيونى. إزالة CO_2 المذاب مع H_2S يزيد من القلوية وبالتالى يقلل من كمية H_2S المذابة كغاز.

بعض الإنشاءات الحقلية أزالت بنجاح (H_2S) من مياه الإنتاج بالتجريد (Stripping) بالغاز العادم الغنى بثانى أكسيد الكربون أو بإضافة حامض قوى مثل حامض الهيدروكلوريك قبل برج التجريد للغاز الطبيعى. فى كلا الحالتين تكون حموضة المياه المعالجة عالية (أقل من 6) بما يكفى لتحويل معظم H_2S إلى شكل الغاز المتطاير. التركيز المنخفض لكبريتيد الهيدروجين تم إزالته بكنس (Sweeping) ماء التكرير الساخن بتيارات الهواء. كل هذه العمليات تجعل الماء شديد العدوانية بسبب المتبقى من H_2S , CO_2 أو O_2. لا يوصى بتجريد H_2S للحماية من التآكل فى عمليات الإنتاج الطبيعية.

التركيزات المنخفضة من H_2S فى المياه المنزلية أو فى مياه تغذية الغلايات يمكن إزالتها بالمعالجة بالكلور.

الإزالة الكيماوية لكبريتيد الهيدروجين فى سوائل الحفر هى طريقة مفيدة وعملية للحماية من التآكل.

ثانى أكسيد الكربون :

يمكن إزالة ثانى أكسيد الكربون بمعالجة الماء بالحامض ثم الكسح (الغسيل) بالغاز. الطريقة نادراً ما تستخدم لهذا الغرض فقط ذلك لأن طرق أخرى لمقاومة التآكل أفضل من الناحية الاقتصادية.

فى خطوط نقل الغاز حيث CO_2 هو الغاز العدوانى الأول، يكون من المفضل إزالة الماء من الغاز إلى الحد حيث لا يتكثف ماء عند أدنى درجة حرارة وأعلا ضغط يتم مقابلته. وعندما تكون إزالة الماء الكاملة (Dehydration) مكلف جداً، يتم أصطياد الماء الزائد وصرفة قبل أجهزة ضغط الغاز ثم يضاف الأمونيا أو الأمين المتطاير لمعادلة CO_2 إلى تدفقات الغاز. كمية كمياويات التعادل المضافة يجب أن تكفى للمحافظة على الرقم الهيدروجينى لكل المياه المكثفة فى النظام عند 6.5 – 7,5. يتم تجنب القيم العالية للرقم الهيدروجينى إذا كان هناك أى مياه مالحة محتجزة والتى يمكن أن ترسب القشور (Scales). يتم وضع نظام لأخذ العينات (Drip Pots) عند النقط المنخفضة وعند نهاية الخط لأخذ العينات وقياس الرقم الهيدروجينى (pH).

الأكسجين :

لا شك أن الأكسجين يسبب تآكل فى نظم حقن المياه أكثر من أى عامل أخر من التلوث حتى بقدر ضئيل جداً من الأكسجين يزيد عدوانية مياه الإنتاج الحامضية (Sour) لعشر أضعاف. كذلك فإن الأكسجين العامل العدوانى الرئيسى فى سوائل الحفر. ولذلك، فإن الأولوية لمقاومة التآكل فى نظم المياه هى إبعاد الأكسجين المذاب إما بالإزالة أو بتجنب وجوده (Exclusion).

إبعاد الأكسجين : (Oxygen Exclusion)

معظم نظم حقن المياه هى من النوع المقفل، أى تلك التى صممت لتجنب التلوث بالأكسجين وذلك بإبعاد الهواء. حتى فى حالة التبطين الداخلى لخطوط التدفق والأوعية فإن إبعاد الأكسجين هام جداً لتجنب التلف المحلى الحاد فى المساحات الغير مغطاة أو فى الثقوب فى طبقة البطانة للدهان.

النقطتين المحتمل دخول الهواء منهما فى نظام الحقن المقفل (من خلال فتحات التنفيث لخزانات التجميع (2) ، من جوانات الحشو عند جانب السحب للطلمبه. لذلك يلزم المراجعة الدورية لجوانات الحشو للوصلات بطريقة دورية لمراجعة مدى إحكامها. استخدام جوانات الحشو المانعة لنفاذ المياه مفيده، وخاصة فى حالة ضخ المياه المحتوية على (H_2S).

إبعاد الهواء من خزانات التجميع أفضل طريقة لتنفيذه هى بعمل طبقة من الغاز الخالى من الأكسجين لشغل الفراغات بالبخار تحت ضغط صغير حوالى من 18 – 35 جرام/سم^2. وهذه يسهل عملها وذلك فى حالة توفر الغاز الخالى من الأكسجين فى الموقع، وذلك بتوصيل ماسورة الغاز إلى أعلا الخزان تحت الضغط الكافى لمنع الهواء من الدخول مع ارتفاع وهبوط منسوب الماء فى الخزان. ماسورة دخول الغاز يجب أن تكون كبيرة القطر بما يكفى لمقابلة الحجم المطلوب، وخاصة على الخزانات ذات الأضطراب (Surge) الصغير حيث منسوب الماء يمكن سحبه سريعاً إلى أسفل.

استخدام غاز النيتروجين لعمل طبقة خاملة فى الخزان وذلك عند عدم توفر الغاز الطبيعى الخالى من الأكسجين. يستخدم كيس ممتلئ بالهواء (Bladder) خارجى لاحتجاز وتدوير النيتروجين مع تغير منسوب الماء. بسبب التكاليف العالية للإنشاءات

فإن النيتروجين لا يستخدم كثيراً رغم أنه ذو تأثير جيد. نفس الشيء يمكن كذلك بخصوص الخزانات ذات الأسقف الطافية (لا وجود لمساحة للبخار) وذلك باستخدام لحام من النسيج حول محيط القمة الطافية.

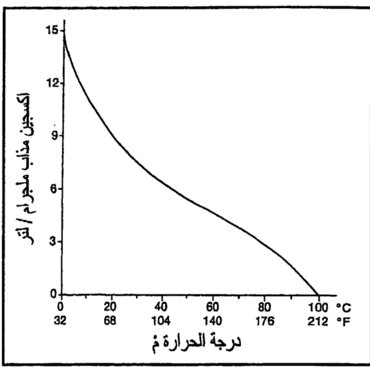
إذابة الأكسجين فى الزيت الخام الطبيعى أعلا من إذابته فى الماء. لذلك، طبقات الزيت الطافية لا تمنع تلوث الأكسجين. الطبقة الكثيفة من الخام الذى تم تعرضه لعوامل التعريه يمكن أن يبطئ من دخول الأكسجين. الطبقات الطافية (حتى سمك 1 متر) من الكرات البلاستيك الصغيرة تم استخدامها كطبقة عليا للزيت الخالى من الماء. ولكن، الفائدة لم تعادل المشاكل والتكاليف وخاصة فى الخزانات التى يتم الضخ منها باستمرار.

إزالة الأكسجين :

العمليات الطبيعية المستخدمة لإزالة الأكسجين فى عمليات الإنتاج هى إزالة الهواء بالتفريغ (Vocuum Deareation) والغسيل أو الكسح بالغاز (Gas stripping). عادة يتم الغسيل بالبخار لمعالجة مياه التغذية للغلايات.

عمليات الإزالة هذه تعمل بالخفض للضغط الجزئى للأكسجين فى المجال الغازى الذى فى حالة إتزان مع الماء. قانون دالتون ينص على أن الضغط الكلى لخليط من الغازات يساوى مجموع الضغط الجزئى لكل من الغازات فى المخلوط. الهواء يحتوى على حوالى 20% من جزئيات الأكسجين. لذلك فى الهواء وعند الضغط الجوى (100 كليو بار أو 14.7 رطل/البوصة المربعة) يكون الضغط الجزئى للأكسجين حوالى 0.2 × 14.7 = 2.9 رطل/البوصة المربعة أو 0.2 جوى. ينص قانون د. هنرى على أن تركيز الاتزان للأكسجين المذاب فى الماء يتناسب مع الضغط الجزئى للأكسجين فى الغاز الملتصق بالماء عند درجة حرارة معينة. وبالتالى فإن كمية الأكسجين المذابة فى الماء يمكن خفضها باستبدال الهواء بغاز ذو محتوى أقل من الأكسجين (غسيل أو الكسح بالغاز) أو بخفض الضغط الكلى للغاز (إزالة الهواء بالتفريغ).

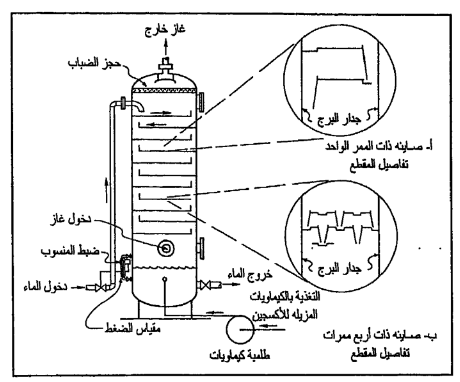
الشكل (1/23) يوضح كمية الأكسجين الموجودة فى الماء فى حالة الالتصاق بالهواء عند درجات الحرارة المختلفة. لاحظ أن تركيز الأكسجين (إذابته) هى صفر عند درجة الغليان للماء عند الضغط الجوى. الأملاح المذابة تقلل إذابة الأكسجين فى الماء.



شكل (1/23) تركيز الأكسجين المذاب ف الماء النقى فى حالة اتزان مع الهواء عند الضغط الجوى

الغسيل بالغاز (Gas stripping)

يتم تنفيذ الغسيل بالغاز بتمرير الماء إلى أسفل خلال وعاء الالتصاق بينما الغاز المحتوى على قليل من الأكسجين أو الخالى منه يتحرك إلى أعلا (فى اتجاه معاكس) خلال الوعاء أو برج الغسيل كما هو موضح فى الشكل (1/24). أبراج الغسيل بالغاز يكون استخدامها اقتصادى فى نظم المياه التى تتداول ما يزيد عن 1600 متر مكعب فى اليوم، حيث تكاليف الغاز الطبيعى تكون منخفضة أو أن الغاز العادم يمكن استخدامه كوقود. يجب ملاحظة أن الغاز العادم من عملية الغسيل يحتوى على الأكسجين المزال من الماء ولذلك لا يستخدم كطبقة لحجز الهواء.



شكل (1/24) برج غسيل الغاز بالاتجاه المعاكس للغاز لإزالة الأكسجين المذاب

توصية أخرى تضمنت أن الغاز الطبيعى الذى يستخدم فى غسيل الأكسجين يجب أن يحتوى على ما لا يزيد عن 0.23 ملجرام/المتر المكعب من H_2S وأكسجين أقل من الذى سيكون فى حالة إتزان مع المحتوى المتبقى من الأكسجين فى الماء. عموماً أعلا حد مقبول للأكسجين المتبقى فى الماء المستخدم فى عمليات حقن الماء هو 0.05 ملجرام/لتر. ولكن كثيراً من المستخدمين يفضلوا ألا يزيد عن 0.01 ملجرام/لتر أو إلى المستوى صفر وخاصة فى مياه البحر المستخدمة للحقن فى البحر.

للحصول على تركيزات الأكسجين المتبقية فى هذه المجالات بالغسيل بغاز الميثان عند 20°م، فإن أقصى محتوى مسموح به للأكسجين فى غاز الغسيل هو كالآتى :

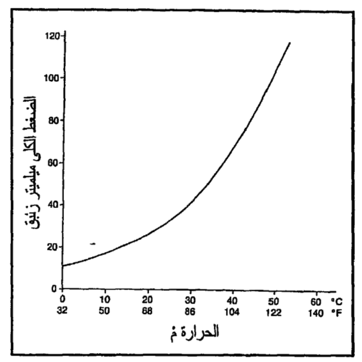
الأكسجين المتبقى فى الماء	أقصى محتوى من الأكسجين فى جزء فى المليون	
ملجرام/لتر	للماء العذب	للماء المالح
0.01	227	297
0.05	1134	1491

قطر برج الغسيل يتراوح ما بين 1– 4 متر وبه عدد من الصوانى ما بين 20 – 25 م ونسبة الغاز إلى الماء هى 0.36 إلى 0.9 م^3/م^3 عند ضغوط 1.5 – 3 جوى (20 إلى 45 رطل/البوصة المربعة).

إزالة الهواء بالتفريغ : (Vacuum deaeration)

إزالة الهواء بالتفريغ تتم فى أبراج التدفق السفلى التى تشبه إلى حد ما فى المظهر أعمدة غاز الغسيل. تستخدم أعمدة (أبراج) الصوانى ولكن الأبراج ذات الحشو هى أكثر كفاءة. المستخدم فى حشو الأبراج هى حلقات راشينج (Rasching rings) والتى توضع بسمك 1.5 – 2.5 متر على حامل من القضبان المتصالبة. يستخدم عادة ثلاث طبقات من الحشو مع السحب بالتفريغ فوق كل طبقة. الضغط عند كل طبقة (مرحلة) يتحقق بالتتالى مع أدنى ضغط (أعلا تفريغ) عند طبقة القاع. يتم سحب التفريغ بواحدة أو أكثر من طلمبات التفريغ ذات الأحكام ضد السائل. المياه المتدفقة إلى أسفل خلال حلقات الحشو تغلى عند درجة الحرارة العالية، منتجة الهواء المذاب وبخار الماء.

لإنتاج الغليان، فإن الضغط الكلى فى البرج يجب خفضه إلى قيمة تساوى مجموع الضغوط الجزئية للغازات المذابة (الأكسجين والنيتروجين من الهواء) زائد ضغط البخار للماء، الكل عند درجة حرارة التشغيل. بيانات المنحنى للشكل (1/25) توضح الضغط الإجمالى المحسوب (المتبقى) بالمليمتر زئبق عند درجات الحرارة المختلفة عندما يكون المتبقى من الأكسجين المذاب 0.1 ملجرام/لتر (أو 0.5 ملجرام/لتر كهواء). لحساب المليمترات لتفريغ الزئبق المطلوب، يتم طرح الضغط الكلى عند درجة حرارة التشغيل الشكل (1/25) من الضغط الجوى السائد (760 مليمتر زئبق عند مستوى سطح البحر).



شكل (1/25) ضغط البخار للماء مع 0.5 ملجرام/لتر من الهواء المذاب (0.1 ملجرام/ لتر أكسجين)

الحماية من التآكل فى أجهزة إزالة الهواء :

Corrosion protection in deaerators

مواد الإنشاء الموصى بها لأبراج الغسيل موجزه فى الجدول الآتى، نفس التوصية تنطبق على أجزاء أجهزة إزالة الهواء بالتفريغ.

جدول لمواد الإنشاء لأبراج الغسيل:

أجزاء البرج	ماء عذب	ماء مالح
جسم البرج وحلقات التحميل	صلب مطاوع غير مغطى	نفس المادة ولكن مغطاة بالأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجي أوالبولى ايستر المسلح بالصوف الزجاجى.
الصوانى وأغطية الفقاعات Trays ، bubble caps	الصلب المقاوم	الصوانى من الصلب المقاوم 316، أغطية الفقاعات من المونيل 400.

بالنسبة لكل الأعمدة (الأبراج) يجب عزل الصوانى من الصلب المقاوم كهربياً عن الصلب المطاوع لمنع حدوث التآكل الجلفنى.

إزالة الأكسجين بالكيماويات :

الإزالة الكيماوية للأكسجين المذاب تتم بإضافة عامل اختزال للأكسجين (O_2 scavenger) مثل الكبريتيت (Sulphite) أو الهيدرازين. التى تتفاعل مع الأكسجين فى الماء كالآتى :

$$SO_3 + \frac{1}{2} O_2 \text{ ---------> } SO_4$$

$$N_2H_4 + O_2 \text{ ----------> } N_2 + 2H_2O$$

تفاعل الهيدرازين بطئ عدا فى حالة درجة الحرارة القريبة من الغليان أو فى المحاليل عالية القلوية حيث الرقم الهيدروجينى 10 ($pH = 10$) أو أعلا. ولذلك فإن استخدام الهيدرازين هو أساساً فى الغلايات ولكن تم إضافته إلى طفلة الحفر القلوية التى تترك خلف قيسونات البئر.

أيون السلفيت يتم بإضافة سلفيت الصوديوم (Na_2SO_3) فى محلول الماء (حوالى 10 – 12% بالوزن). ولكن الشكل المفضل هو باى سلفيت الأمونيوم (NH_4HSO_3) والذى يتوفر فى شكل محلول مخلوط محتويا على 65% بالوزن من باى سلفيت الأمونيوم. عادة يتوفر سلفيت الصوديوم فى شكل مسحوق جاف أو فى شكل بلورات والتى عادة يضاف لها ملح الكوبالت لزيادة معدل التفاعل. محلول باى سلفيت الأمونيوم المركز بدون بلورات مضافة أكثر ثباتاً عن محاليل سلفيت الصوديوم المضاف لها عامل وسيط (catalyzed) ولا يفقد القوة بسرعة عند التعرض للهواء فى أحواض تغذية الكيماويات. آثار الحديد الموجودة فى معظم المياه هى مناسبة كعامل وسيط حيث تسرع معدل تفاعل باى سلفيت الأمونيوم. كلا من سلفيت الصوديوم (الجاف) باى سلفيت الأمونيوم (65% محلول) يتم التغذية بهما بمعدل 10 جزء فى المليون لكل واحد ملجرام/لتر (جزء فى المليون) من الأكسجين المذاب. عامل الاختزال من محلول السلفيت عادة يتم حقنه مباشرة فى حوض الماء عند قاع برج غسيل الغاز شكل (1/24) لإزالة الأكسجين المتبقى. للتحكم فى عملية المعالجة، يكون من الأساسى اختبار الماء من آن إلى أخر بخصوص المحتوى من الأكسجين. وبالتالى يتم وضع صنابير للعينات فى خط المياه القادمة وعند الأماكن المناسبة فى خط المياه المزال منه الهواء تحت التيار لبرج الغسيل.

ويمكن استخدام كيماويات السلفيت اقتصادياً كعامل وحيد لمعالجة إزالة الأكسجين (بدون غسيل الغاز أو سحب الهواء بالتفريغ) فى نظم المياه الصغيرة، وخاصة عندما يكون المحتوى من الأكسجين منخفض.

ثانيا، التحكم الجيد يتطلب الاختبار من آن لآخر بخصوص المحتوى من الأكسجين، والإشراف الجيد لمعدة حقن الكيماويات. فى حالة كلورة الماء لقتل البكتريا، فإن الكلور يجب إضافته عند نقطة منفصلة تحت التيار لحقن السلفيت وحيث تم التفاعل للأكسجين والتخلص منه. الكلور وعوامل الأكسدة الأخرى يتفاعل مع السلفيت ويستهلكه. هذا يمكن ملاحظته كذلك عند معالجة مياه البحر حيث الكلور (الهيبوكلوريت) يتولد كهربياً من مياه البحر فوق التيار لأجهزة إزالة الهواء. أى هيبو كلوريت متبقى يتفاعل مع السلفيت تحت التيار لأبراج إزالة الهواء، وبذا يزداد المطلوب من السلفيت.

الفصل السابع

اختيار المواد، اعتبارات التصميم والتداول

مقدمة :

الخواص الرئيسية للمعدن والتى تجعله مناسباً لتطبيقات معينة فى عمليات الإنتاج هى (1) القوة المناسبة (2) مقاومة التآكل الموضعى والتآكل العام (3) مقاومة التلف بفعل التشقق. ارتفاع التكلفة وعدم الوفرة يستثنى كثيراً من سبائك الصلب العالية والمعادن الغير حديدية التى قد تحقق هذه المتطلبات الأساسية.

لحسن الحظ، فإن درجة مقاومة التآكل المطلوب فى معظم الاستخدامات يمكن خفضها باستخدام مثبطات التآكل، طبقات التغطية، الحماية الكاثودية، أو إزالة العوامل المسببه للعدوانية من المجال الملاصق للمعدن. يمكن تحقيق متطلبات القوة بضبط السمك التصميمى أو بالتحكم فى الخواص الكيماوية والطبيعية. عملية زيادة القوة بزيادة السمك يحدها أقصى وزن يمكن تحمله خاصة فى ماسورة الحفر، القيسونات، وأعمدة المواسير، والإنشاءات البحرية. السمك الزائد يزيد كذلك من الحساسية لحدوث العيوب ويعيق تجانس عملية المعالجة الحرارية.

زيادة القوة بإضافة عناصر سبائكية (Alloying) وبالمعالجة الحرارية هو الأسلوب العادى المتبع وذلك بالنسبة للمعادن الحديدية. ولكن العيب الرئيسى لهذه التقنيات هو زيادة الحساسية للتشقق المفاجئ عند زيادة القوة عن حد معين.

أهمية التشقق كآلية إتلاف زادت مع زيادة عمق الحفر ولفتت أنظار العاملين فى مجال الإنتاج.التآكل المرتبط بعمليات التشقق هو العادى. ولكن بعض الخواص الميكانيكية المعينة للمعدن يجب معرفتها قبل التشقق واختبار المعدن يجب مناقشته جيداً.

خواص المعدن والتلف بالتشقق :

حد المطاطية – المرونة – الخضوع وإجهاد الشد

Elastic limit – ductility – yield and tensile strength

عند شد قطعة من المعدن ذات أبعاد محددة من نهايتيها، تكون تحت إجهاد الـشد. الضغط (Stress) هو الحمل أو القوة على وحدة المساحة من المقطع. الاستطالة الكلية أو حد الشد مقارنة بالطول الأصلى لجزء العينة يسمى التوتر (Strain). خـلال حـد المطاطية، فإن الـ (Strain) ليس دائماً والأبعاد تعود إلى الحالة الطبيعية عند إزالـة الإجهاد. عند الإجهادات ما بعد حد المطاطية، يحدث تغير ثابت فى الشكل ويستمر مع زيادة الإجهاد حتى حدوث الكسر والتلف للمعدن. المرونـة أو القـوة (Ductility or toughness) هى قياس للتغير المطاطى فى الشكل قبل الكسر.

الإجهاد المستخدم عند حد المطاطية أو بداية التغير فى الشكل المطاطية (Plastic deformation) يسمى جهد الخـضوع أو نقطـة الخـضوع (Yield point). النقطـة الصحيحة يصعب تعريفها و 0.2% ما بعد نقطة الخضوع هو المستخدم عادة. هذا هو حمل الإجهاد عند استمرار الشد لجزء معلم لقطعـة الاختبـار 0.2% مـن الطـول الأصلى. إجهاد الشد (Tensile srength) هو أقصى حمل قبل الكسر مقسومات علـى مساحة المقطع.

الصلابة : (Hardness)

الصلابة هى قياس لمقاومة المعادن للقطع أو الخدش والصلابة هى مؤشر للمرونة (Ductility).

اختبار روك ويل للصلابة (Rock well hardness) يستخدم لصلب حقول البترول ويتم بضغط نقطة الماسة فى شكل القمع فى الـصلب بحمـل 150 كجـرام. عمـق الاختراق لنقطة 0.2 مليمتر عند هذا الحمل يترجم إلى تدريج تسمى صلابة روك ويل (HRC). الصلب منخفض القوة له صلابة روك ويل أقل من 20. أقصى صلابة يمكن الحصول عليها فى الصلب الكربونى هى 65 (HRC – 65).

توجد مقاييس أخرى للصلابة، العادى منها هو برينل (Brinell) HRC22 = 237 صلابة برينل.

قوة التحمل وإجهاد التآكل Fatigue srength and corrosion fatigue

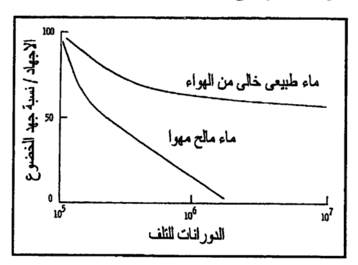
قوة التحمل وحد التحمل هما مرادفين يستخدموا لتوضيح وحدة الإجهاد التى يمكن أن يتحملها المعدن لعدد كبير غير محدد من تكرار او دورانات الإجهاد فـى مجـال

خامل. فى الاختبارات العملية، مستويات الإجهاد يعبر عنها عادة كنسبة من إجهاد الخضوع للمعدن الجارى اختباره.

قوة أوحد التحمل للصلب هو تقريباً من 50 إلى 75% من إجهاد الشد. ولكن، الصلب القوى له قوة تحمل أقل نسبياً (كنسبة من إجهاد الخضوع) مقارنة بالمعدن الأقل قوة (Softer)، الصلب الأكثر مرونة.

عند وجود عامل عدوانى مثل الأكسجين فى الماء، فإن حد قوة التحمل ينخفض باستمرار طبقاً لكثافة التآكل. التأثير موضح للصلب المنخفض السبائكيه (Low alloy steel) ببيان المنحنيات الموضحة فى الشكل (1/26). التأثير المشترك للإجهاد يسمى إجهاد التآكل (Corrosion fatigue) وهو أكثر خطورة عن أى من العاملين كلا على حدة.

إجهاد التآكل هو الشكل الرئيسى للتلف لماسورة الحفر وأعمدة السحب (Sucker rods).



شكل (1/26) الظروف البيئية مقابل حد الحمل للصلب منخفض السبائكية

المعالجة الحرارية للصلب :

الخواص الطبيعية للصلب وبعض المعادن الأخرى تتأثر بشدة بالمعالجة الحرارية، والتى تحدد بدرجة كبيرة حجم الحبيبات.

الصلابة يتم تحقيقها بالتسخين إلى درجة حرارة حرجة ثم التبريد. بناء الحبيبة بعد التسخين يسمى الأوستينيت. مع التبريد السريع (Quenching) يتحول الأوستينيت إلى المارتنزيت، والذى له قصافة (Brittle)، صلب وله بناء حبيبات فى شكل إبرى.

لخفض كمية المارتنزيت والحصول على صلابة متجانسة بدون اجهادات داخلية، الصلب الذى تم تبريده سريعاً يتم إعادة تسخينة إلى درجة حرارة أقل من 732°م لفترة ثم التبريد بمعدل محكم. التبريد البطئ جداً فى فرن ينتج صلب طرى معالج حرارياً (ملدن Annealed) عملية التلدين الجزئى تستخدم للتخلص من الإجهاد فى الأجزاء المصنعة أو الملحومة. التبريد البطئ فى الهواء يسمى التطبيع الحرارى (Normalizing).

التعديل (Tempering) هى عملية للتسخين المتوسط والتبريد المتجانس المحكم لاستمرار خواص الصلابة المطلوبة للمارتنزيت.

عمليات أخرى للتحكم فى مستويات القوة والصلابة تغير بناء الحبيبة بكل من إضافات السبيكة والمعالجة الحرارية. بعض السبائك تنتج معدن طرى نسبياً مع التبريد السريع وتسمى الصلب ذو الصلابة بالترسيب. سلسلة الصلب المقاوم (300) تحتفظ بالبناء الميكرونى للأوستينيت وهى لا تزداد صلابة بالمعالجة الحرارية.

التشقق الكبريتى بالإجهاد (Sulfide stress cracking – ssc)

الخواص الميتاليرجية التى تتحكم فى القوة، الصلابة، المرونة .. الخ هى المسئولة عن الحساسية للأشكال المختلفة للتشقق. أهم آلية للتشقق فى معدة حقول البترول هى التشقق الكبريتى بالإجهاد.

يحدث التشقق الكبريتى بالإجهاد عند تعرض المعدن الحساس لإجهاد الشد والتعرض للماء المحتوى على كبريتيد الهيدروجين (H_2S) أو مركبات كبريتية أخرى معينة. كمية الماء الموجود يمكن أن تكون طبقة رقيقة مثل الرطوبة المكثفة من الغاز الحامضى (Sour Gas) أو أن تكون المعدن تام الغمر. خلايا التآكل على المعدن تولد كبريتيد الحديد (FeS)، والهيدروجين الذرى (H^o). كمية الفقد من المعدن تكون عادة عند أدناها والطبقة السطحية من (FS) تساعد على تحرك ذرة الهيدروجين فى المعدن (Metal Lattice). اختراق الهيدروجين فى جسم المعدن يقلل المرونة. ذرة الهيدروجين (H^o) قد تتراكم عند العيوب فى السطح وتولد ضغط شديد بالتحول إلى الغاز الجزيئى

أو غاز الهيدروجين (H_2)، فى جيوب أو فراغات. كلا من فقد المرونة بفعل H^o والإجهادات المحلية الداخلية الناتجة عن (H_2) يعتقد أنها المسببه فى التشقق الكبريتى بالإجهاد.

عندما يكون المعدن الصلب عالى القوة كمثال، فإن الجمع بين الفقد فى المرونة والضغط الداخلى المحلى المتراكب (superimposed) على تحميل إجهاد الشد يسبب كسر وتشقق المعدن. التلف بالتشقق عادة مفاجئ وإذا كان إجهاد الشد عالى نسبياً، فإن التشقق يستمر تماماً خلال المعدن.

الفترة الزمنية للتلف بفعل التشقق الكبريتى بالإجهاد يكون قصيراً عند درجات الحرارة المنخفضة (20 – 40°م). بالنسبة للمواسير من الصلب السبائكى المنخفضة بصلابة (HRC 26) عادة لا يحدث طالماً أن درجة الحرارة تزيد حوالى 80°م. ولكن تشقق الصلب فى مجال صلابة (HRC –22) وأكثر يمكن أن يحدث بسرعة فى حالة تبريد الصلب فى وجود (H_2S) حتى لفترة زمنية قصيرة. القاعدة العامة المقبولة لمقاومة الصلب الكربونى والصلب منخفض السبائكية للتشقق الكبريتى بالإجهاد هى أن الصلابة المتجانسة يمكن استمرارها عند إجهاد ليس أعلا من (HRC-22).بعض المعادن الغير حديدية مثل المونيل (Monel K500) مقبولة حتى (HRC35).

سلسلة الصلب (AISI 4100) مثل 4140 المستخدم فى ماسورة الحفر، مقبول حتى (HRC26). الصلب درجة (H) مثل (4140H) يصنع مع التحكم فى الصلابة التى تكون متجانسة خلال سمك الجدار لتحسين مقاومة التشقق الكبريتى.

المعالجة الحرارية المفضلة للصلب المقاوم للتشقق الكبريتى هى بالتريد السريع ثم تطويع الصلب (Temper). هذا يفضل عن التطبيع الحرارى ثم التطويع.

الأنواع C-75 (النوع 2) ، L-80 , C-90 من المواسير والقيسونات من الصلب يتم تبريدها سريعاً ثم (Tempered) مع التحكم فى الصلابة. بعض التوصيات لاستخدام المعادن المقاومة للتشقق الكبريتى عندما يكون الضغط الجزئى للكبريتيد يساوى أو أكبر من 0.05 رطل/البوصة المربعة. عند الضغط الكلى للغاز 10000 رطل/البوصة المربعة هذا الضغط الجزئى لكبريتيد الهيدروجين (H_2S) يمثل فقط 5

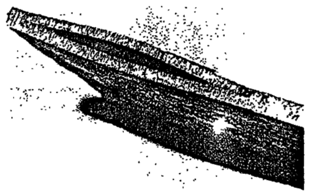
جزء فى المليون فى المجال الغازى. كذلك أظهرت الاختبارات أن درجات الصلب -C 90 , N-80 يمكن أن تكون مناسبة للخدمة فى المجال الحامضى عند ضغط جزئى للكبرتيد الهيدروجينى 0.75 رطل/البوصة المربعة، 1.5 رطل/البوصة المربعة بالتتالى. وهذا سوف يضع حد أقصى لـ H_2S فى إنتاج الغاز عند فقط 150 جزء فى المليون عند 10000 رطل/البوصة المربعة. أو تقريباً 0.01% جزئ.

التقرح الهيدروجينى [التشقق الداخلى] :

Hydrogen blistering (Internal fracturing)

اختراق الهيدروجين الذرى H^o فى الصلب الطرى منخفض القوة يمكن أن ينتج تشققات داخلية. الآلية تشبه لتلك التى سبق وصفها للتشقق الكبريتى (SSC) حيث H^o داخل الصلب يتغير إلى الهيدروجين الجزيئى (H_2) ويولد ضغط عالى. التحول إلى H_2 يحدث أسفل السطح عند العيوب أو عدم الاستمرارية مثل الرقائق فى صفائح الصلب. فى الصلب الطرى مثل ذلك المستخدم لحوائط خزانات الحفظ، الكسر الداخلى عادة يمتد ويتتبع عدم الاستمرارية موازياً السطح.

المعدن يكون محتقن بجيب من غاز الهيدروجين والحوائط المحيطة تنحنى إلى الخارج فى شكل بثور أو قروح (Blister) شكل (1/27) البثور أو القروح توجد غالباً على جدران الخزانات أو الأوعية المحتوية على الماء الحامضى (Sour water) أو الهيدروكربونات ويمكن أن تكون كبيرة حتى قطر واحد متر. المثبطات الكيماوية واستخدام التغطية الداخلية تساعد فى تجنب هذه المشكلة. فى الحالات الحادة مثل أوعية إزالة الحموضة فى مصانع الغاز، أصبح المطلوب هو استخدام درجة ذات نوعية عالية من الصلب.



شكل (1/27) مقطع للتشقق الهيدروجينى فى جدار حوض تخزين حامضى (سمك 0.64سم)

التشقق بفعل الإجهاد أو التآكل :

(Stress corrosion cracking) SCC

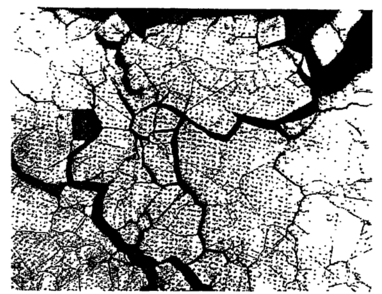
تشقق الإجهاد بفعل الكلوريد للصلب المقاوم الأوستينيت الذى تم وصفه هو مثال محدد لمجال كبير للتلف بالتشقق الموصوف تحت المسمى العام التشقق بفعل الإجهاد والتآكل (SCC) وهو ما يعرف بالتآكل الذى يتم تعجيله بالإجهاد. فى الواقع فإن التلف يحدث فجأة (بعد فترة حضانة) مع قليل من الظهور للتآكل الذى حدث. التشقق بفعل التآكل والإجهاد (SCC) يختلف عن إجهاد التآكل (Corrosion fatigue) فى أن الأخير يحدث تحت إجهاد الدوران (Cyclic)، والذى يشمل تكرار كلا من قوى الشد والضغط. وهو يشبه إجهاد التآكل فى أن التشقق بفعل الإجهاد والتآكل يحدث دائماً عند السطح والذى يكون عادة ثقب. الثقب يبدأ دائماً بإذابة بعض مكونات المعدن بنوع معين من عوامل التآكل (مثل عدوانية الكلوريد على الصلب المقاوم الأوستينيت). مثال للتشقق بين الحبيبات الناتج عن التآكل والإجهاد موضح فى الشكل (1/28). المعدن فى هذه الحالة هو الصلب عالى المنجنيز من بريزة (Collar) الحفر الغير مغناطيسية التى حدث بها تلف أثناء الخدمة فى الحفر لبئر ساخن (درجة الحرارة أعلا من 100°م) حيث المحتوى من الكلوريد مرتفع فى طفلة الحفر. الثقوب تحدث عند السطح (أعلا الصورة) وتتقدم الشقوق فى المعدن، أساساً على طول الفواصل بين الحبيبات. الصلب المطاوع يحدث له تشقق بفعل الإجهاد والتآكل (SCC) عند التعرض لمحلول ساخن من القلوى أو النترات بينما يقع عليه إجهاد قريباً من حد المطاطية. تحت الظروف المشابهة، النحاس الأصفر (Brass) يمكن أن يتشقق بالأمونيا وسبائك معينة من الألومنيوم والتيتانيوم يحدث لها تشقق بالكلوريدات، البروميدات، الأيوديدز.كقاعدة عامة أى تلف سطحى مثل الثقوب، الخدش تنشط تركيز الإجهاد وبذا تساعد على التلف بفعل التشقق بأى من الطرق الثلاث التآكل، الإجهاد، التشقق بفعل الإجهاد والتآكل.

التشقق بفعل الإجهاد والكلوريد : Chloride stress cracking (CSC)

الصلب المقاوم الأوستينيت (المجموعة 300) يمكن أن يحدث له التلف بالتشقق عند التعرض للمياه المحتويه على الكلوريدات عند درجة حرارة أعلا من 93°م وذلك عندما يكون تحت إجهاد الشد أو إجهاد الطوق (Hoop). الأخير هو فى الحقيقة إجهاد شد على جدار المواسير أو الأوعية المحتوية على سوائل تحت الضغط.

الصلب المقاوم الفيريت 13% كروم (بدون نيكل) مثل الصلب 410 لا يتأثر بالتشقق بفعل الإجهاد والكلوريد (CSC) ولكن له حساسية لـــ SCC.

سبائك النحاس الأصفر والنيكل (Ni Brass Alloys) ذات المحتوى العالى من النيكل مثل سبائك (Incoloy 825) , (Hastelloy G) عادة تعتبر خاملة لعدوانية كلاً من SCC , CSC.



شكل (1/28) التشقق بالإجهاد فى جلبة الحفر من الصلب المقاوم

اعتبارات التصميم والتداول :

1- اختيار المعدن :

معالم التصميم للمعدة تحكمها عادة المعايير الطبيعية مثل المحتوى من الضغط وطاقة التدفق وكذلك المواصفات الميكانيكية القياسية. مثل مواصفات معهد البترول الأمريكى (API). ولكن يجب دائماً الانتباه نحو عوامل التصميم واختيار المعدن والتى تقلل من التآكل وتجعل من عملية المعالجة للحماية من التآكل عملية سهلة.

1- إنشاءات البئر :

أ- اختيار المواسير والقيسون :

الآتى بعد بيان استرشادى للآبار شديدة العدوانية المحتوية على (H_2S).

- اختيار المواسير ذات المحتوى المنخفض من الكبريت وذات صلابة متجانسة الصلابة لا تزيد عن (HRC22) أو استخدام مجموعة الصلب المقاوم (4100)، ثم التبريد السريع (Quenched)، ثم التطويع(Tempered) حتى (HRC26).
- استخدام وصلات دفق داخلية (Internal flush joints) بدون فجوات (Recess).
- اختيار المواسير التى تم معالجتها للتخلص من الإجهادات (Partially Annealesd).

- تجنب استخدام الصلب الأوستينيت (المجموعة 300).
- رغم أن الصلب المقاوم الأوستينيت مثل AISI 304 , 316 ليسوا عموماً مناسبين كمواسير فى الآبار المنتجة للمياه المالحة المحتويه على الكلوريدات والمحتوية على (H_2S)، إلا أن هذه السبائك مفيدة جداً لـ وضع (Trim) الطلمبات والمحابس. وهى مفيدة تحديداً فى الاستخدامات حيث الأكسجين يكون موجوداً وفى درجة الحرارة المنخفضة فى وجود CO_2.

تمت أبحاث كثيرة ودراسات للمعادن المقاومة للتآكل، وخاصة للمواسير المستخدمة فى الآبار شديدة السخونة (Ultra hot wells).

الجدول الآتى يوضح بعض السبائك ومقارنة لمقاومتها للتآكل. هذا البيان هو لأغراض الدراسة ولكن لا يمكن اعتباره توصية بعدم الاستخدام. وكثير من السبائك الأخرى متاح .

بعض السبائك لمواسير الآبار الساخنة

مقاومة التآكل	مقاومة التشقق		معظم مكونات السبيكة				السبيكة
	SCC	CSC	Co	Mo	Ni	Cr	
F	S	S		–	9	19	صلب مقاوم 304
F	S	S		3	12	17	صلب مقاوم 410
S	S	R		–	–	13	صلب مقاوم 410
F	S	R		–	–	18	صلب مقاوم 430
G	S	G		3	6	24	صلب مقاوم Duplex
G	R	R		3	29	20	Carpenter 20 Cb
G	R	R		3	42	22	Incoloy 825
R	R	R		9	65	19	Inconel 625
G	R	R		5	26	22	Hyness 20 Mod
G	R	R		7	43	22	Hastelloy G
R	R	R		16	59	16	Hastelloy C – 276
R	R	R	35	100	35	20	MP 35 N

G = جيد، F = مقبول ، S = حساس ، R = مقاوم

السبيكة 13% كروم الرمز (410SS) ذات أهمية لاستخدامها فى الآبار البحريـــة. هذه السبيكة مقاومة للتآكل فى المجال الحامضى لوجود CO_2 والأحمـــاض العـضوية حتى 120 ْم ولكن تصبح بسرعة حساسة للتآكل العام والتآكل الثقبى عنـــد درجـــات الحرارى الأعلى. توجد ملاحظة أن السبيكة 13% كروم يمكن أن تكون حساسة للمياه المحتوية على H_2S , CO_2 والأكسجين عند درجة حرارة منخفضة حتى 43°م.

الصلب المقاوم (Duplex) أكثر مقاومة للتشقق بفعل الأجهاد والكلوريد (Chloride stress cracking – CSC) مقارنة بالأوستينيت (المجموعة 300). وهذه تحتوى على 22 – 25% كروم، 3 – 5 موليدينوم، 5 – 15 نيكل. وهى مقاومة للتآكـــل الثقبـــى والعام عند التركيزات العالية لثانى أكسيد الكربون عند درجات حرارة حتـــى 200°م ولكنها حساسة للتشقق بفعل H_2S عند درجات الحرارة العالية.

الصلب المقاوم الفيريت 18 – 20% كروم، 1 – 3 موليدينوم مع قليل من النيكل أو بدونه مناسب لحالات شديدة العدوانية كثيرة. زيادة المقاومة لكل من التآكل الثقبـــى والتشقق مع زيادة معظم مكونات السبيكة كما فى الجدول السابق.

رأس البئر وخطوط التدفق :

يجب اختيار الصلب لمقاومة التشقق بفعل الإجهاد والكبريت (SSC) حيث أقـــصى HRC تكون 22، مع التبريد السريع والتطويع (Tempered) إلا فى حالة التأكـــد مـــن عدم وجود H_2S.

الصلب المقاوم 410 مناسب حتى درجة حرارة 120°م، فى حالة عدم وجود H_2S نفس السبيكة أو Monel k500 تستخدم فى أعمدة المحابس والبوابات والكراسى.

شجرة عيد الميلاد المغطاة من الداخل بطبقة رقيقـــة مـــن (Inconel 625) ثـــم إنـــشائها لمحاولة الاستخدام فى الإنتاج شديد العدوانية حيث H_2S , CO_2 عند درجة حرارة 160°م.

معدن خطوط التدفق يجب أن يكون مقاوماً للتشقق بفعل الإجهاد والتآكل الكبريتى (SSC) وذلك فى الإنتاج الحامضى المحتوى على (H_2S). يجب أن يتضمن التـــصميم نقط لحقن المثبط عند الحاجة. يجب تجنب الانحناءات الحادة وخاصة فى إنتاج الغـــاز مع الرمال المحجوزة والمواد الصلبة الأخرى. القاعدة العامة هـــى أن نـــصف قطـــر الانحناء يجب ألا يقل عن خمسة أضعاف قطر الماسورة.

الخزانات والأوعية (Tanks and vessels)

ينشط التآكل الجيبى أو الفجوى (Crevice) عند التصاق سطحين. وهذا يمكن أن يكون جوانات، معدن ملامس لمعدن (تطابق أو عدم اللحام الكامل) أو الرواسب التى ترسب على سطح الخزان أو الوعاء. عند وجود الأكسجين تتكون خلايا اختلاف التهوية فى الفجوات أو تحت الترسيبات حيث تسبب ثقوب عميقة.

خطوط الصرف يجب أن تمتد إلى قاع الخزان لإزالة الرواسب والحمأة. يجب تصميم الأوعية والخزانات لإبعاد أماكن ومساحات التدفق البطئ حيث يمكن أن تتراكم المواد الصلبة. لا يتم اللحام الجزئى لأسطح المعادن المتطابقة (الركوب). داخل الخزان والأوعية يجب أن يكون خالى تماماً من العوائق وكمرات التحميل الغير منتظمة.

التصميم بالمعادن الغير متماثلة : (Dissimilar Metals)

فى المناقشة السابقة تم ذكر استخدام سبائك الصلب المقاوم والسبائك الغير حديدية مثل مونيل 500 خاصة لمحابس رأس البئر والأعمدة. كذلك فى العادة التغطية للسطح الداخلى للطلمبات بالكروم (بالترسيب الكهربى) وخاصة للطلمبات الغاطسة واستخدام سبائك مثل (Colmonoy No 6) (وهى بوريد الكروم وكربيد الكروم فى أساس من النيكل) وذلك لمقاومة البلى لكباس الطلمبة. فى طلمبات المياة السطحية التى تعمل فى حقن المياه يستخدم الطلاء بالكروم لتجويف الدافع ويستخدم رأس الطلمبة من الألومونيوم برونز.

معظم السبائك المقاومة للتآكل تحتوى على تركيزات عالية من الكروم والنيكل والنحاس وبعضها يحتوى على الموليدنيوم، الكوبالت، الألومنيوم زائد كميات مختلفة من الحديد، المنجنيز، السليكون والكربون. سبائك الصلب المقاوم من الكروم – النيكل حيث الكروم أكبر من 22% هى مقاومة للتآكل فى المياه المحتوية على الأكسجين ولكنها تتآكل فى المياه الغير مهواه المحتوية على (H_2S)، هى كذلك حساسة لـ CSC , SSC.النيكل والسباك المحتوية على أكثر من 40% نيكل تقاوم الحموضة المنخفضة، والمحاليل الغير مؤكسدة مثل المياه المالحة الحامضية (Sourbrine).سبائك (Inconels)، Chlorimet , Hastelloys , Incoloys وسبائك المونيل كلها ذات مقاومة عالية للتآكل وتحتوى على 44% نيكل أو أكثر. النحاس والسبائك المحتوية على

70% نحاس أو أكثر تستخدم فى المحابس ومواسير المبادلات الحرارية والمواسير المستخدمة فى تداول المياه المالحة المهواة. مثال لذلك الألومنيوم برونز (7% الومنيوم)، الكوبرونيكل Cupronickel (30% نيكل).

كقاعدة عامة السباك المقاومة للتآكل مثل سبائك الصلب المقاوم 304، 316 تعتبر كاثودية للصلب وتسبب تآكل جلفنى وذلك عند التصاق كليهما فى الماء المالح.

استخدامهم المقبول فى المحابس والطلمبات هو عادة نتيجة المساحة السطحية الصغيرة نسبياً لأجزاء هذه السبائك. فى هذه الحالة، الصلب المحيط يتآكل ويوفر الحماية لأجزاء السبيكة. فى حالة الكاثود الصغير فإن معدل التآكل على آنود الصلب الأكبر (والأكثر سمكاً) يكون مقبولاً. على الأجزاء المغطاة بالكروم أو النيكل حيث تحدث شروخ فى طبقة التغطية أو كسور، يحدث تآكل موضعى حاد على معدن الأساس من الصلب. هنا تكون مساحة الكاثود كبيرة والآنود المعرض من الصلب يكون صغيراً. لذلك، يكون التآكل موضعى وكثيف. لذلك يجب أن تكون طبقة الطلاء المعدنى متجانسة، غير مسامية، ليس بها تلف.

لذلك يجب الحذر عند تداول المعدات وتجنب حدوث أى خدوش أو تلفيات على السطح أثناء الإنشاء، وكذلك تربيط الوصلات والجلب جداً وبإحكام وليس بالتقريط الحاد.

تأثيرات السرعة : (Velocity effects)

التدفق البطئ للسائل (القريب من حالة الركود) يلزم تجنبه ذلك لأنه يساعد على تراكم الحمأة والعفن وبالتالى ينشط حدوث التآكل الثقبى.

مع زيادة السرعة فى المواسير فإن المعدل الكلى للتآكل (الغير معالج) يزداد حتى فى حالة عدم وجود مواد صلبه. يزداد معدل التآكل مع زيادة السرعة إلى 9 – 12 متر فى الثانية حيث الغازات العدوانية الموجودة H_2S , CO_2 عند °107م، السرعة المناسبة هى طبقاً للمعادلة

$$V = \frac{C}{\sqrt{P}}$$

حيث V = حدود السرعة قدم/الثانية

P = كثافة السائل (ماء ، زيت أو غاز) رطل/القدم المكعب

C = ثابت من 100 إلى 500

يبدو أن قيمة لـ V فى حالة النظم الغير معالجة بدون مواد صلبة . فى حالة وجود مواد صلبة أو فى حالة استخدام مثبط الأمين لا تنطبق. الحالة الخطرة التى يلزم تجنبها هى التصادم للمواد الصلبة على سطح المعدن، كما فى حالة الكيعان أو الانحناءات الحادة.

التكهف : (Cavitation)

أحد أشكال التآكل بالبرى (Erosion – corrosion) والذى يتضمن كلاً من سرعة السائل والضغط هو التكهف بسبب تكرار التكون والتصادم للغاز أو فقاعات البخار. الفقد فى المعدن بسبب التكهف يمكن أن يكون محلى وشديد. فى معدات الإنتاج، عادة يحدث التكهف فى طلمبات حقن المياه حيث الضغط الغير مناسب على خط السحب للتغذية (Suction feedline) وعادة يحدث فى خطوط التدفق والمواسير الحاملة للمياه مع الغازات المذابة عند سرعات الأضطراب (Turblent velocities). أفضل حل لمشكلة التكهف فى طلمبات المياه هو بزيادة الضغط على جانب السحب إلى الحد الذى لا يسبب حدوث فقاعات من الهواء أو من بخار الماء عند أدنى نقطة على دورة الضغط.

الفصل الثامن

الطرق الخاصة بالحد من التآكل فى عمليات إنتاج البترول

مقدمة :

فى هذا الفصل سيتم تناول الاعتبارات العملية للحد من التآكل فى الصناعة. وذلك بالبدء بعمليات الحفر ثم المعدات السطحية ثم معدات آبار الحقن، وصولاً إلى معدات عمليات الغازات والأرصفة البحرية.

1 – **تآكل معدة الحفر** : (Drilling Equipment corrosion)

السبب الرئيسى لتآكل عامود الحفر هو الأكسجين المذاب، التآكل الثقبى بفعل الأكسجين المذاب يؤدى إلى التآكل بالإجهاد. قليل جداً من H_2S من التكوينات الحامضية يزيد من العدوانية لسوائل الحفر المهواه لعشرة أضعاف. H_2S يمكن أن يسبب كلاً من التآكل العام والتشقق الكبريتى بالإجهاد (SSC).

شكل العدوانية والتلف لماسورة الحفر يتأثر بعدة عوامل مثل :

1. اجهادات الشد والثنى.
2. خواص المعدن (العيوب ، الخدوش، الصلابة ، ..الخ).
3. عدم التوصيل الجيد للوصلات.

فالماسورة التى يتم تصفيتها مع ترك مواد صلبة رطبة على الأسطح الداخلية يحدث لها تآكل بالأكسدة الذى ينشط التآكل الثقبى ، ويستمر الثقب فى زيادة العمق إلى أن ينخفض سمك الجدار بتأثير المعدن عند قاع الثقب ويكون معرضاً لإجهاد ميكانيكى أعلا من ذلك لكل الماسورة. يتأثر حجم الاجهاد المحلى بالشكل الهندسى للثقب ويكون أكثر تركيزاً عند القاع الحاد أو الثقوب فى شكل حرف V. هذه الثقوب ذات الزاوية الحادة تميل إلى أن تتكون عادة على الأسطح الداخلية. الثقوب الخارجية يتم تقليلها بحك المساورة ضد الحوائط الخارجية.

الخواص الميكانيكية كذلك لها تأثير قوى. الصلب القوى عادة المطلوب للحفر عادة له إجهاد كلال (Fatigue stress) أقل، أو حد التحميل عند الصلب الأكثر مرونة وليونة. استمرار الاستخدام لإجهاد الدوران فى طفلة الحفر العدوانية المهواه يسبب

إجهاد وتشقق للمعدن. عادة يبدأ التشقق داخلياً عند قاع الثقوب الحادة ثم ينتشر ويستمر خلال جدار الماسورة. بمجرد البدء، فإن التشقق خلال الجدار يمكن أن يحدث سريعاً فى الصلب القوى (Hard) حيث (HRC) تكون أكبر من 20 – 30.

فى الصلب القوى (Hard steel) يميل الشرخ إلى الانتشار والاتساع المحيطى. عندما يكون المعدن المتبقى الغير متشقق غير قادر على تحمل حمل الإجهاد يحدث التواء وتنفصل الماسورة.

فى الصلب الأكثر مرونة، خلال شرخ الجدار يمكن أن يتسع ببساطة بسبب بثق السائل ويتكون ثقب اجتراف التربة (Wash out hole). اجتراف التربة يسبب خفض سريع فى ضغط الطلمبة حيث يجب دفع الماسورة لاستبدال الوصلة المثقبة.

بعد إزالة التربة من ماسورة الحفر، العادى هو بضخ قطعة من العامود (Softline) أسفل ماسورة الحفر للإنسداد الجزئى للثقوب وزيادة الضغط. باستخدام المعادلة الآتية (Berling – sharbutt eqn) فإن وصلات الماسورة (الحامل) مع اجتراف الماء (wash out) يمكن تعيين مكانه.

$$S = \frac{TV}{L}$$

حيث : S = رقم الحامل المحتوى على مخلفات الغسيل (Wash out).

T = زمن الضخ بالدقيقة حتى زيادة الضغط.

V = السرعة قدم فى الدقيقة.

L = طول متوسط الحامل (Stand) بالقدم.

طرق حماية ماسورة الحفر من التآكل :

بفرض أن تصميم الماسورة وخواص الصلب تتطابق مع المواصفات المطلوبة، والوصلات تم عملها وتزليجها جيداً، وأخذت الاحتياطات لتجنب التلف الميكانيكى، الوسائل الرئيسية لخفض التآكل والتشقق لماسورة الحفر هى التحكم فى المجال المعرض.

الطرق الأربع لخفض التآكل لماسورة الحفر هى :

1. إزالة الأكسجين المذاب من سائل الحفر.
2. استخدام الكيماويات لتتفاعل مع تثبط كبريتيد الهيدروجين.

3. غسيل رواسب الطفلة قبل التحريك.
4. استخدام طبقات الحماية من المثبطات.

بالإضافة إلى أهمية الحماية للسطح الداخلى للماسورة بالتبطين. وذلك باستخدام الفينولات بالتحميص (Packed) مع طبقة عليا من الأيبوكسى.

إزالة الهواء باستمرار من سوائل الحفر، حيث يستخدم سلفيت الصوديوم (Sodium sulfite)، أمونيوم بأى سلفيت هما الكيماويات المستخدمة فى إزالة الأكسجين. معدلات المعالجة هى 8 – 10 ملجرام/لتر من السلفيت لكل ملجرام/لتر من الأكسجين الموجود زائد 10 – 30% زيادة. العامل المساعد للتفاعل مثل القليل (Trace) من ملح الكوبالت حيث يضاف لتعجيل التفاعل

$SO_3^{``} + \frac{1}{2} O_2$ ---$CO^{++}$---> $SO_4^{``}$
(السلفيت)　　　　(كبريتات)

محلول مركز من ملح السلفيت مثل (Ammonium Bisulfite) يكون مناسباً ويمكن أن يستخدم بدون إضافة عامل وسيط. الإزالة الميكانيكية للهواء بغسيل الغاز (Gas Stripping) أو بالتفريغ، فى أبراج الحشو تستخدم فى بعض الحالات لإزالة الأكسجين إلى حوالى 0.1 ملجرام/لتر. لأفضل النتائج، فإن الأكسجين المتبقى يمكن إزالته بالمعالجة الكيماوية التالية (السلفيت). كما ذكر سابقاً، كبرتيد الهيدروجين (H_2S) يزيد التآكل بشدة وذلك عند وجود الأكسجين. حتى فى حالة الإزالة الكلية للأكسجين فإن تلوث سائل الحفر بكبرتيد الهيدروجين من المنطقة الحامضية يمكن أن يسبب تلف شديد. الصلب عالى القوة الأكثر صلابة من (RC22) يميل إلى التشقق بسرعة تحت إجهاد الشد عند التعرض لـ (H_2S). لذلك عندما تتطلب عملية الحفر استخدام مواد ذات صلابة عالية، فإن بيئة الحفر يجب حمايتها بأحد الطرق الآتية:

1. المحافظة على كثافة سائل الحفر والضغط الهيدروستاتيكى يكون كافياً لخفض دخول سائل التكوينات (التربة).
2. المحافظة على الرقم الهيدروجينى لسائل الحفر عند 10 أو أعلا.
3. استخدام مزيل لكبريتيد الهيدروجين.
4. استخدام سائل الحفر الذى يكون فيه الزيت هو المجال المستمر.

الكيماويات المستخدمة على نطاق واسع لإزالة تأثير كبرتيد الهيـدروجين (H_2S) هى كربونات الزنك القاعدية ($ZnCO_3 . Zn (OH)_2$)، والتى تتفاعل مع H_2S كالآتى :

$$H_2S \text{ -------> } HS^{`} \text{ ----> } S^{``} + Zn^{++} \text{ -----> } ZnS\downarrow$$

غير مذاب

من بين مزيلات كبريتيد الهيدروجين الأخرى الزنـك المغلـف (Chelated zinc) المذاب فى سوائل الحفر، أكسيد الحديد المسامى وأملاح النحاس لا تستخدم حالياً على نطاق واسع نظراً لأنه يمكنها ترسيب معدن النحاس على الصلب مسببة تآكـل تقبـى موضعى بسبب التصاق المعادن الغير متماثلة.

المثبطات العضوية المذابة فى الماء عموماً ليست مؤثرة فى مقاومة التآكل بفعـل الأكسجين. فى حالة عدم وجود الأكسجين، يمكن استخدامها لخفض التآكل بفعل H_2S. جرعات متقطعة من تركيزات عالية للمثبطات العضوية المذابة فى الزيت التى تشكل طبقة على الماسورة كل 8 – 12 ساعة ثبت جدواها. ولكن هذه ليست مناسبة حيـث تمتز بشدة على مواد الحفر والطفلة. يمكن أن يحدث التشقق بفعل الإجهـاد والتآكـل للصلب القوى حتى فى حالة خفض الفقد فى المعدن باستخدام المثبطات. (SSC)

كل مواصفات ماسورة الحفر تتطلب الطول الكلى المعالج حرارياً بالماسورة بدون علامات (Seam Less) وذات محتوى محدود مـن الفوسـفور (0.04%)، وأقـصى محتوى من الكبريت 0.06%. الصلب القوى المعالج بالتبريد السريع والتطويع مثـل (4145H) يفضل لمقاومة التشقق. هذه الأنواع مستخدمة كذلك لوصلات الأدوات وقفيز الحفر. القفيز (البريزة Collars) الغير مغناطيسية المصنوعة مـن (monel K 500) أو 316L (الكربون المنخفض) الصلب المقاوم يستخدم فى توجيه فتحات الحفـر. قفيـز الصلب الأوستينيت (18% كروم، 8% نيكل) معرض للتشقق بفعل الإجهاد والتآكل.

تآكل القيسون الخارجى : (External casing corrosion)

أثبتت الاختبارات أن التلف والتآكل الخارجى للقيسون يرجع إلى الأربع أسـباب الآتية:

1. التيارات الكهربية.
2. عدوانية مياه التربة.
3. البكتريا المنتجة لـ H_2S.

4. التآكل بفعل السوائل الأخرى.

الكميات الكبيرة من مزلج القلاووظ المحتوية على معدن النحاس يمكن أن تسبب تآكل موضعى حول الأطراف الخارجية لجلب الربط للقيسون.

عند زيادة زمن التعرض أى من الحالات العدوانية يمكن أن تسبب تلف شديد للقيسون أساسا بسبب التآكل الإليكتروليتى.

لقد ثبت أن العدوانية الشديدة والسريعة فى بعض الحقول وجد أنها تحدث عند واحد من ثلاث مناطق لتكوينات التربة أو الأعماق. هذه النقط الساخنة عادة فى التربة ذات المحتوى العالى من الأملاح. التآكل الأليكتروليتى هو الاسم العادى لفقد المعدن الناتج عن صرف التيار المستمر العادى إلى الأرضى. هذا التيار يمكن أن يكون مصدره.

الفرق فى الجهد بين تكوينات التربة التى يخترقها القيسون التيار الداخل إلى البئر من توصيلات الأرضى لنظم التوصيل الأرضى الكهربى.

يمكن وجود فرق جهد أكبر من واحد فولت بين سطح المعدة، مثل خطوط التدفق الطويلة وقيسونات الآبار، وذلك بسبب وجود خلية اختلاف تركيز الأكسجين. الأكسجين المتاح فى التربة الملاصقة لخطوط ا لتدفق ينشط تفاعل الاختزال الكاثودى.

$$H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2e \dashrightarrow 2OH^-$$

بينما الحديد يذوب فى الماء فى المنطقة الآنوديةو على القيسون حيث لا يوجد أكسجين.

$$Fe^{o} \dashrightarrow Fe^{++} + 2e$$

التيارات الكهربية الشاردة يمكن كذلك أن تدخل خطوط التدفق من خطوط نقل الطاقة عالية الجهد، الطبقات الأرضية للحماية الكاثودية ونظم التوصيل الأرضى الكهربى. فى كثير من الحالات المصدر أو الممر للتيارات الشاردة لا يمكن تحديده بسرعة ولكن الاختبارات بالفولتميتر خلال خطوط التدفق إلى فلنجات رأس البئر يمكن أن تبين أن تيار كهربى يدخل البئر خلال القطب الموجب للفولتميتر على خطوط التدفق والقطب السالب للفولتميتر على جانب القيسون للفلنجة المفتوحة، حيث تنحرف إبرة القياس نحو اليمين، مبينة تدفق التيار من الموجب (+) إلى السالب (−).

كما تم ذكره سابقا، التدرج فى الجهد بين تكوينات التربة يمكن أن ينتج تيارات تحت السطح بين أجزاء مختلفة للقيسون. هذا التيار لا يمكن كشفه باختيارات القياس بالفولتميتر عند رأس البئر.

فى جميع حالات التآكل الألكتروليتى على القيسونات، يحدث صرف التيار الكهربى التقليدى من المعدن إلى الأرض عند المناطق الآنودية. وجود المياه المالحة يزيد من تآكل المعدن وتفاعلات آنودية أخرى. التوصيل الكهربى العالى (المقاومة الكهربية المنخفضة) ينشط انتقال التيار بين القيسون. والتربة عند المناطق الملحية. يحدث فقد لصلب القيسون حوالى 9.1 كيلو جرام فى العام لتدفق تيار قيمته واحد أمبير. معدل اختراق جدار القيسون بالتآكل الإليكتروليتى يتناسب مع كمية التيار (الأمبيرات) التى تتدفق ويتناسب عكسياً مع مساحة صرف التيار.

فى حالة خلية تركيز الأكسجين حيث لا يوجد تيار كهربى خارجى وأن الفقد فى المعدن يرجع أساساً لتفاعل الأكسدة الآنودية، فإن تآكل وفقد 9.1 كيلو جرام من صلب القيسون خلال العام سوف ينتج تدفقات تيار قيمتها واحد أمبير.

عوازل رأس البئر : (Wellhead insulators)

خفض التسرب الذى يحدث عادة من القيسون تم بالعزل الكهربى للقيسونات من خطوط التدفق. هذا يوقف تدفق التيار إلى أسفل نحو القيسون من السطح (وتدفق الإلكترونات إلى أعلا القيسون).

تستخدم مواد العزل لكل من وصلات القلاووظ والفلنجة. يفضل عزل كل الآبار الجديدة بوصلات العزل. القيسونات المحمية كاثودياً يتم كذلك عزلها.

حماية القيسون بالأسمنت وسوائل التكملة :

Casing protection by cement and completion fluids

بالإضافة إلى عزل رأس البئر، فإن أفضل طريقة لخفض تلف القيسون بفعل التآكل الخارجى يكون بوضع طبقة متجانسة من المونة الأسمنتية مقابله لكل المناطق العدوانية. التغطية بالأسمنت للماسورة السطحية ولكل طول القيسون للآبار العميقة وخاصة الآبار البحرية، حيث يستخدم فقط الأسمنت المقاوم للكبريتات.

القيسونات التى لا يتم حمايتها بالمونة الأسمنتية يتم حمايتها بسائل التكملة (Completion) الخالى من الأكسجين (بازالة الهواء) ورقمة الهيدروجينى المرتفع بفضل (Thixotropic or gelable). سوائل التكملة التى تترك خلف القيسون يجب معالجتها بمزيل للأكسجين مثل الهيدرازين أو سلفيت الصوديوم والوصول برقمها الهيدروجينى إلى 9.5 = 11 قبل وضعها. الأكسجين المتبقى المذاب ينشط التآكل

المتبقى ويساعد بالتالى على نمو البكتريا. سوائل التكملة ذات الأساس الزيتى يمكن أن تمنع هذه المشاكل طالما أنها ظلت ثابتة، ولكنها مطلقة.

الحماية الكاثودية للقيسون :

بالإضافة إلى المواد الأسمنتية وسوائل التكملة الغير عدوانية، تستخدم الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى (Impressed current) لحماية السطح الخارجى للقيسون من التآكل. الصعوبة الرئيسية فى هذه الطريقة هى أن التوزيع المتجانس الحقيقى للتيار يصعب تنفيذه. المعدلات للتيار (Rectifier) التى تعمل بطبقات الآنود (Anode beds) عند سطح الأرض عموماً لا يمكنها توفير تيار أسفل من 2500متر. طبقات الآنود العميقة يوصى بها لتحسين توزيع التيار للمناطق العميقة عند حدوث تسرب للقيسون عند أعماق أكبر من 300 متر. كقاعدة، عمق ثقب طبقة الآنود يجب أن يكون 5% لأعمق منطقة حيث يوجد تلف بالتآكل. الآنودات المستخدمة هى الجرافيت، الزهر عالى السليكون، الآنودات المغطاة بالبلاتين هى المستخدمة فى إنشاءات طبقات الآنود العميقة. نظرياً، طبقات الآنود الأرضية العيمقة جداً يمكن أن تحمى أى عمق ولكن التكلفة عالية. الحماية الكاثودية تستخدم للأبار ذات العمر الطويل ولحماية الأجزاء العليا للآبار عالية الضغط العميقه. كمية التيار الكاثودية لكل بئر يتراوح من 3 إلى 30 أمبير طبقاً للعمق وشدة العدوانية. دخل التيار لكل بئر يتم ضبطه لأبعاد كل المناطق الآنودية على القيسون. يلى ذلك الضبط النهائى للتيار بحيث الجهد ما بين التربة ورأس البئر عند كل بئر فى الحقل يكون قريباً لذلك لكل الآبار المحيطة.

قياس التآكل الخارجى للقيسون : (Measuring External casing corrosion)

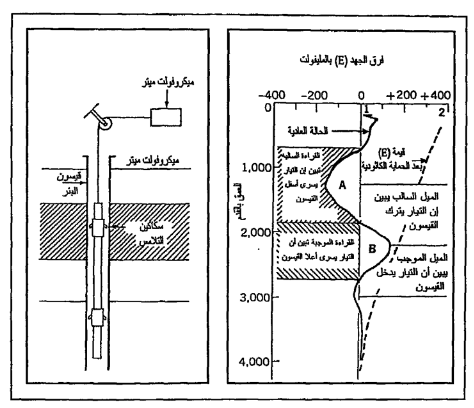
توجد أنواع مختلفة من الأجهزة للكشف ولقياس تآكل القيسون بعضها يستخدم مجموعة من اجهزة ميكانيكية لقياس السمك من الداخل وكذلك القياس الكهرومغناطيسى لقياس سمك جدار القيسون مجموع التسجيلات يتم تفسيرها بالفرق لتعيين الأماكن حيث حدث فقد خارجى فى المعدن. كما توجد أجهزة حديثة.

الأكثر استخداماً لتعيين ما إذا كان برنامج الحماية الكاثودية للقيسون محقق إقتصادياً هو التوقيع على مخطط لتاريخ تسرب القيسون فى كل حقل. من الخبرة، أماكن خفض التسرب للتيار من القيسون بنسبة 75% بالنسبة لنظام الحماية الكاثودية المعد جيداً.

شكل الجهد للقيسون : (Casing potential profiles)

المناطق الآنودية الخارجية حيث يمكن حدوث تلف ما بفعل التآكل يمكن الكشف عنها مبكراً باستخدام جهاز توقيع جهود القيسون أسفل البئر (Downhole casing potential profile). فى هذه الطريقة يتم قياس الخفض فى الجهد (IR drop) عبر طول القيسون (7.6 متر) بين قطعتى معدن الالتصاق. الشكل (1/29) يوضح مخطط للجهاز وتوقيع البيانات.

مخطط شكل الجهد للقيسون   معدة عمل شكل الجهد للقيسون



شكل (1/29) شكل جهد القيسون بمعدة الاختبار وتوقيع بيانات العينة

معدن التوصيل من كل ملامس يتم تحضيرة ورفعة خلال الكابل الحامل الذى يتحرك عليه الجهاز ويتم توصيلهما بجهاز قياس الميكروفولتميتر على السطح. قراءة خفض الجهد يتم الحصول عليها بين الملامسين. يتم التوقيع للبيانات من القاع إلى القمة، على فترات تساوى الفاصل بين سكاكين التوصيل. يتم توقيع الانخفاض فى الجهد (IR) مقابل العمق حيث بذلك يتم الحصول على الشكل العام لجهد القيسون.

يفترض أن التيار يسرى من + إلى – (تيار تقليدى) وأن ملامس القاع يستخدم كدليل. منحنيات البيان يتم توقيعها ورسمها (كما هو موضح فى الشكل (1/29)، حيث قيم السالب (–) على اليسار للصفر وقيم الموجب (+) على اليمين. القراءات على الجانب الأيسر للصفر عندئذ تبين أن سريان التيار يكون إلى أعلا. لذلك، انحناء المنحنى نحو اليسار من القاع يبين المنطقة الآنودية التى تتآكل حيث التيار يكون تاركاً للقيسون.

باستخدام الكمية المناسبة من تيار الحماية الكاثودية، فإن كل تدفقات التيار لأسفل (القطبية السالبة على ملامس القاع) تتوقف، وتظهر بالمنحنى بالخطوط المشهرة فى الشكل (1/29). يحدث ذلك لأن تيار التغذية للحماية الكاثودية يتدفق إلى القيسون من الأرض ثم بانتظام إلى أعلا.

حيث أن E = IR وبفرض أن المقاومة متجانسة لقطر معين من القيسون، عندئذ سريان التيار (I) يمكن حسابه لأن كلا من R , E يكونوا معلومين. القيم التقريبية لـ (R) لمختلف أوزان القيسون يمكن حسابها بالمعادلة الآتية :

$$R = \frac{1411.7}{W}$$

حيث R = المقاومة بالميكرو أوم (10^{-6} أوم)/ المتر من الطول

W = الوزن كيلو جرام/المتر.

الحماية الكاثودية لقيسونات البئر يمكن تحقيقها (إزالة كل المناطق الآنودية) باستخدام تيار صغير حوال 6 ملي أمبير/ المتر المربع. متطلبات التيار يمكن تحديدها بواسطة طبقة آنودات أرضية مؤقتة. يتم عمل الشكل العام للجهد، ثم عمل أشكال إضافية بمستويات مختلفة للتيار المستخدم (عادة 3 إلى 30 أمبير إجمالى).

اختبارات E سجل I السطحية لتقدير متطلبات تيار القيسون :

Surface E log I tests fro estimating casing current requirement

كبديل لطريقة الشكل العام لجهد القيسون أسفل البئر، تمت محاولات لتقدير متطلبات التيار بقياس الجهد ما بين الماسورة/التربة لرأس البئر (Well head) باستخدام قطب قياسى ($Cu/CuSO_4$). القطب القياسى يوضع بعيداً عن البئر بمسافة 30 متر وتؤخذ قراءات الجهد بنفس الطريقة كما تم وصفه فى الفصل الرابع. يتم الإمداد بمستويات مختلفة من التيار للقيسون بمولد أو بطاريات وطبقة آنودات أرضية مؤقتة.

عند كل مستوى من التيار، يتم توقيع جهد رأس البئر (E) مقابل سجل (Log) التيار الكلى (I). ثم الحصول على نتائج جيدة لاختيارات تمت باستخدام جهاز الاضطراب للتيار (Current Interrupter) والطريقة اللحظية لقطع التيار لقراءات جهد رأس البئر.

عند استخدام طريقة (E log I)، بعض العاملين يعملوا سلسلة من أشكال الجهد أسفل بئر القيسون فى ما لا يقل عن واحد من مجموعة الآبار لتعيين العلاقة لبيانات (E log I) لرأس البئر. يلى ذلك اختبارات (E log I) على الآبار المحيطة لإمكان الاعتماد على تقدير متطلبات تيار الحماية الكاثودية المطلوب. الدافع إلى استخدام طرق اختبار السطح مثل طريقة (E log I) هو لتفادى تكاليف التسجيل أسفل البئر وتكاليف توقف البئر عن العمل. حيث أن اختبارات (E log I) غير مقبول الاعتماد عليها ولذلك جارى عمل برنامج محاكاة بالكومبيوتر للحماية الكاثودية للقيسونات.

التآكل الداخلى أسفل سطح التربة : Internal subsurface corrosion

التآكل الداخلى للبئر يكون بسب (1) أعمال التنميه للبئر بالحامض، السوائل المتروكة التى تدخل من أعلا (2) دخول سوائل التربة من قرب القاع.

يحدث تلف بفعل التآكل تحت السطح أثناء التشغيل الأولى للبئر. والذى لا يسبب التلف الفورى للمعدة وبذا لا يتم اكتشافه. المواسير المتآكلة التىتدفع بعد إنتاج البئر لمدة ستة إلى ثلاث سنوات وذلك بسبب (1) التنمية بالحامض الذى ترك فى البئر فترة طويلة (2) الإعداد الغير جيد للمياه المالحة كسائل للتكملة. عند حدوث تلف غير متوقع فإنه يجب إعداد برنامج منقح للتحكم الذى يمكن أن يمنع إعادة حدوث مثل هذا التلف.

بعض الاحتياجات البسيطة نسبياً يجب مراعاتها أثناء التخطيط، التكملة، الإنتاج المبكر لأى بئر والتى تساعد فى إعداد برنامج جيد. هذه الخطوات موضحة فى الجدول الآتى :

الخطوات 1، 2 ن 3 فى الجدول أساسية لتجنب مشاكل التآكل. فقد ثبت أن الغازات المذابة (H_2S , CO_2 , O_2) هى العامل الرئيسى فى تنشيط التآكل فى عمليات إنتاج البترول.

المعدات تحت السطح فى آبار إنتاج البترول والغاز تتأثر بفعل H_2S , CO_2 فى بعض الخزانات الجوفية تساهم كذلك الأحماض العضوية المذابة فى الماء (أحماض

الأسيتيك والبروبيونيك). ولكن تحليل الغاز المنتج بالنسبة لوجود CO_2 , H_2S هو أفضل مؤشر نحو حدوث مشاكل التآكل.

أى نسبة لو قليلة من H_2S فى الغاز المنتج من البئر تستحق عمل برنامج للحماية من التآكل وذلك عند وجود الماء كذلك . فى الاختبارات المعملية يمكن إثبات أن الماء المحتوى على قليل من H_2S حتى 3 ملجرام/لتر يمكن أن يسبب تشقق وثقوب فى الصلب الكربونى. نواتج التآكل من كبريتيد الحديد غير مذابة وهى كاثودية بالنسبة للصلب.

جدول عناصر برنامج الحماية من التآكل للآبار الجديدة

1	عين محتويات الغاز وخاصة CO_2 , H_2S.
2	وجود المياه الكافية لإحداث التآكل.
3	إذا كان المجال الغازى يحتوى على H_2S أو أن الضغط الجزئى لـ CO_2 يزيد عن 7 رطل/بوصة المربعة، فإنه يجب توفير الوسائل لرصد التآكل والحماية من التآكل عند تصميم معدات البئر.
4	عين درجة الحرارة المتوقعة والضغط المتوقع وطريقة الإنتاج (التدفق، الرفع بالغاز أو بالمضخة).
5	تأكد من أن حامض التنمية تم تثبيطة، مع إزالة الحامض المتبقى تماماً وسريعاً كلما أمكن ذلك.
6	إضافة الكيماويات المزيلة للأكسجين إلى المياه المالحة أو أى سائل مائى آخر يستخدم للتحكم فى الضغط أثناء التكملة مباشرة قبل الاستخدام. فى حالة ترك السائل فى الثقب استبدل الماء المالح بزيت مثبط أن أمكن ذلك.
7	فى حالة وجود H_2S أو CO_2 فى الغاز المنتج، يتم عمل برنامج رصد التآكل بنوع أو أكثر لأجهزة الرصد لراس البئر (خط التدفق).

يجب مراعاة إجراءات منع حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل بفعل السلفيد (SSC) (H_2S)، وذلك عندما يكون الضغط الجزئى لـ H_2S فى الغاز أكبر من 0.015 رطل/البوصة المربعة، وعندما يكون الضغط الكلى 65 رطل/البوصة المربعة أو أعلا. الضغط الجزئى لأى مكون من الغاز يمكن حسابه من تحليل الغاز كالآتى :

الضغط الجزئى = نسبة الجزئيات × الضغط الكلى

مثال :

أظهرت تحاليل الغاز أن محتوى الغاز المنتج من CO_2 هو 2 جزئ فـــى المائـــة، ضغط الخزان 6000 رطل/البوصة المربعة.

.. الضغط الجزئـــى لـــــ CO_2 = 0.02% × 6000 = 120 رطـــل/البوصـــة المربعة.

أثبتت الدراسات السابقة أنه عندما يكون الضغط الجزئى لـــــ CO_2 أقـــل مـــن 7 رطل/البوصة المربعة (نصف جوى) فإن التآكل بفعل CO_2 يكون غير مسبب لمشاكل فى آبار تكثيف الغاز. هذه الحقيقة مازالت مفيدة والآبار المنتجة للغاز وذات المحتوى الأعلا من CO_2 يمكن اعتبارها عدوانية. تزداد شدة التآكل مع زيادة الضغط الجزئـــى لـــ CO_2 وزيادة الحرارة. ولكن، الضغط الجزئى لـــ CO_2 أكبر من 30 رطل/البوصة المربعة ودرجة حرارة 60°م لا يوجد قانون لتوقع التآكل الموضـــعى بـــسبب تكـــون طبقات حماية من كربونات الحديد ($Fe\ CO_3$) فى شكل قشور (Scale). زيادة المحتوى من البيكربونات (HCO_3^-) فى المياه المنتجة تعمل على تقليل نفاذية ترسيبات الحمايـــة (زيادة الحماية) بينما زيادة المحتوى من كربونات الكالسيوم تعمل على زيادة النفاذية.

2- العوامل المؤثرة على معدل التآكل وظروف التلف :

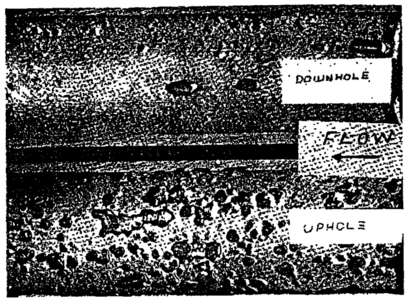
كثيراً من الآبار تنتج H_2S , CO_2 خلال أسابيع قليلة تكفى للإذابة الكاملة لعـــامود المواسير إذا أمكن التفاعل لكل H_2S , CO_2.

الإذابة الكلية بالتآكل للمعدن تحدها الطبقة الـــسطحية شـــاملة أمـــلاح الكبريتيـــد ورواسب التشغيل (Millscale)، الكربونات، الرواسب المعدنيـــة وبفعـــل الاســـتقطاب وزيادة جهد الهيدروجين.

التآكل الموضعى فى شكل ثقوب وانتشارها يكون عادة بسبب واحد أو أكثر مـــن الآتى :

- الشوائب فى المعدن.
- الاختلاف فى البناء الجيبى للمعدن.
- الإجهاد الموضعى و/أو الاحتكاك والبرى بالمواد الصلبة.

مظهر التآكل الثقبى بسبب CO_2 موضح فى الشكل (1/30)



شكل (1/30) تآكل ماسورة الغاز بفعل CO_2 التآكل العلوى زاد بسبب تكثف الماء

بعد أن تبدأ المنطقة فى التآكل وتنشيط التآكل الموضعى، فإنها تميل إلى الاستمرار عند تلك النقطة. هذا هو أحد الأسباب حيث حتى فى حالة بدء حدوث التآكل المعتدل بفعل، أحماض التنمية أو سوائل التكملة فإنه يمكن أن يكون مدمراً. أثناء المراحل المبكرة من عمر البئر.

العوامل المحلية التى لا يتم توقعها تجعل من المستحيل تأكيد توقيت إنتاج البئر حتى حدوث التلف. بالعمل الرئيسى لمهندس التآكل هو بتقييم احتمالات حدوث التآكل بمعدل حاد ثم وضع نظام للحماية كما هو موضح فى الجدول السابق.

طرق المعالجة بالمثبطات للآبار :

Inhibitor treatment methods for wells

استخدام المثبطات الكيماوية للحد من التآكل تحت السطح للآبار من الأهمية بما يتطلب العناية الخاصة. موردوا المثبطات لديهم المعرفة بخصوص طرق الاستخدام حيث يلزم الأخذ بتوصياتهم. المستخدم يجب أن يقارن بين مختلف المنتجات وطرق المعالجة.

الجدول الآتى يوضح الطرق المختلفة المستخدمة فى معالجة الأنواع المختلفة من الآبار. سيتم تناول تفصيلات أكثر لكل من هذه الطرق.

جدول موجز عند استخدام المثبطات لآبار الإنتاج

نوع البئر	طريقة المعالجة
(1) الحيز الحلقى المفتوح open annulus بالضخ مستوى تدفق عالى	على دفعات متقطعة مع التدوير
(2) الحيز الحلقى المفتوح – مستوى سائل منخفض	على دفعات متقطعة مع الدفق Flush
(3) الحيز الحلقى المقفل بالضخ أو بالتدفق الطبيعى	على دفعات من آن إلى آخر أسفل المواسير استبدال المواسير حشر التربة محبس الحقن أسفل الثقب (التغذية الحلقية)
(4) الحيز الحلقى المقفل – رفع الغاز	حشر التربة بمساعدة المعالجة المستمرة للغاز
(5) تدفق الغاز أو الغاز المكثف	مثل (3)
(6) غاز حامضى، درجة حرارة عالية أكبر من 150°م	باستمرار خلال عامود الأنابيب المزدوج (Dual string) أو خط حقن خاص للمثبط.

1- المعالجة المتقطعة على دفعات أسفل مواسير القيسون الحلقى :

تستخدم هذه الطريقة فى الآبار بدون عازلة الإنتاج (packers) وتعتمد أساساً على استمرار المثبطات ذات الأساس من الأمين الزيتى (Oily Amine). المثبطات المذابة فى الزيت والتى تكون قابلة للانتشار فى الماء كذلك يبدو أنها تعمل جيداً. حجم الجرعة (Batch volume) ومعدلات الحقن تختلف ولكن يمكن أن تكون 4 – 8 لتر يتم حقنها كل يومين إلى عشرة أيام، طبقاً لحدة التآكل. المعالجة عادة تبدأ أولا بتركيز عالى (0.3 إلى 0.5 زيادة فى نسبة الحجم) من جرعة المثبط.

فى الآبار حيث الضخ يتوقف أو أن مستويات السائل منخفضة فى الفراغ الحلقى، فإن الحماية تتوقف إلى حد كبير على متانة وتماسك للطبقة المستخدمة من آن إلى أخر. كل جرعة يتم دفقها مع ما يكفى من الإنتاج أو الماء لحمل المثبط أسفل القيسون. عندما يكون هناك مستوى السائل مرتفع الذى يجب أن يمر خلاله المثبط فإنه ينصح بتدوير كل جرعة إلى أسفل مع حجم من الزيت المنتج والماء (من المواسير) يساوى مالا يقل عن نصف حجم الفراغ الحلقى. فى هذه الحالة السائل فى الفراغ الحلقى يمكن أن يستمر فى تغذية المثبط إلى أسفل بين المعالجات فى حالة تذبذب منسوب السائل.

2- معالجة الآبار ذات عوازل الإنتاج للقيسون – المواسير :

(With casing – Tubing packers)

هذه المجموعة تشمل نهايات خـط المواسـير المفـرد (Single tubing completions)، النهايات المضاعفة (أنابيب وقيسونات الإنتاج) والنهايات بدون مواسير.

بالنسبة للنوعين الأخيرين، يفضل استخدام تقنيات حشر التربة. الحشر أو الـدفع لجرعة من المثبط فى التربة، تستخدم كذلك فى آبار أخرى حيث معالجات الدفعة مـن أن إلى آخر يصعب استخدامها فى تقنية الحشر، المحلول المركـز (5 – 10% مـن الحجم) من المثبط فى الزيت يتم حقنه فى فترات الإنتاج. يتم عندئذ ترك البئر متوقف لفترة زمنية (12 – 24 ساعة) لإمكان ادمصاص المثبط في صخر التربة. معدة البئر المعرضة تتكون عليها طبقة (Filmed) مع التحرك إلَى أسفل للمحلول عالى التركيـز. عند عودة البئر للإنتاج فإن المثبط ينسحب من التربة إلى السائل المنتج ويكون طبقـة المثبط على المواسير والمعدات الأخرى تحت السطح. تركيز المثبط والمحلـول يـتم اختيارهم على أساس التأثير وبواسطة الاختبارات الأولية لخلـط الـسائل لتأكيـد أن المستحلبات الثابتة لا تتكون عند خلط المثبط المخفف مع مياه الإنتاج.

بعض العاملين يصمموا المعالجة بالحشر بواسطة اختيارات القلب أو اللب (Core tests) التى تحدد حجم الصخر اللازم لادمصاص حجم معلوم من المثبط. يؤخذ حجم المثبط ليكون الكمية التى توفر 15 – 25 ملجرام/لتر للسائل المنـتج خـلال 3 – 9 أشهر زائد التجاوز للادمصاص العكسى. الطريقة العادية هى ببساطة حقن 0.2 متـر مكعب (برميل واحد) من المثبط المشترى للتربة حتى سمك 30 متر وكميـات أكبـر نسبياً للمناطق الأكثر سمكاً. يتم تخفيف المثبط المـشترى إلـى 5 – 10 % تركيـز بالنسبة للحجم بواسطة خام أو زيت الديزل قبل الحقن وهذه الكتلة (Slug) يتم إزاحتها (دفقها) بالزيت المحتوى على 0.5% مثبط. إضافة مزيل للمستجلب إلى الزيت الـذى تم دفقه يعتبر أداء جيد.

حجم الدفق الزائد (Over flush) الموصى به هو نصف حجم كتلة المثبط الذى يتم حقنه. زيادة الدفق الزائد تزيد من فقد الادمصاص العكسى فى التربة. الحشر التـالى بأحجام مماثلة عادة يعطى عمر أطول عن الأول، بسبب الكفاية لطاقة التربـة علـى الادمصاص.

معالجة إزاحة المواسير مفضلة بالمثل عن عملية الحشر باستثناء أن 5 – 10% بالحجم من محلول المثبط هو ببساطة يتم إزاحته نحو القاع ولا يتم حشره إلى الخارج فى تكوينات التربة. هذه الطريقة أعطت نتائج جيدة فى إنتاج الغاز الجاف نسبياً، وعندما يكون عمر طبقة المثبط ستة أشهر أو أكثر.

آبار الغاز ذات المواسير الواحدة، المنتجة لا يقل عن 5000 رطل/البوصة المربعة للضغط وعند درجة حرارة 120°م يمكن معالجتها بطريقة الدفعة بكتلة من المثبط 5 – 10% فى الزيت فى المواسير وتركها تسقط. حجم الكتلة يكون 10 – 20% من الحجم الكلى للمواسير. معدل السقوط يتغير طبقاً للزوجة المثبط ويتم تبطيئه بواسطة عوائق أو أى اختناقات أخرى. معدل السقوط المناسب هو 250 متر فى الساعة للآبار العميقة. فى الآبار ذات الضغط العالى ودرجة الحرارة العالية، أحياناً الكتلة للمثبط لا تسقط لأن الزيت الحامل قابل للإذابة فى الغاز فى المواسير ويعلق عند القمة مثل المكبس. فى هذه الحالة الإزاحة المنتظمة للمواسير التى نوقشت يتم استخدامها.

الآبار بعازلة لإنتاج (رازمة Packer) يمكن كذلك معالجتها بإزاحة القيسون (Casing displacement) أو بطريقة التغذية الحلقية (Annular feed Method). محبس حقن يعمل بالضغط يوضع فى عامود المواسير فوق عازلة الإنتاج مباشرة ليسمح بتدفق محلول المثبط إلى المواسير من الفراغ الحلقى للقيسون. القيسون يظل ممتلئ بمحلول المثبط فى جميع الأوقات، عادة 5 – 10% بالنسبة للحجم فى الزيت. يتم عمل معالجة مرحلية من آن إلى آخر بواسطة طلمبة سطحية التى تدفع حجم من المثبط إلى المواسير. المعالجة المستمرة بواسطة مثبط مذاب فى الماء فى محلول الماء يمكن كذلك استخدامها. تشتت المثبطات فى الماء لا يتم تشتتها واستخدامها نظراً لأنها ليست ثابتة بما فيه الكفاية. المشاكل الرئيسية بهذه الطريقة هى (1) الذى يتم معالجته هو فقط المواسير فوق محبس الحقن (2) عادة يحدث انسداد للمحبس برواسب قشرية من القيسون ومن الرواسب التى يحملها محلول المثبط. النظافة الجيدة للقيسون قبل البدء وترشيح محلول المثبط تساعد فى تجنب انسدادات المحبس.

البديل لطريقة إزاحة القيسون والتى لا تستخدم المحبس الجانبى. حيث يتم ببساطة تخريم المواسير بعدة ثقوب فوق الرازمة (عازلة الإنتاج) مباشرة بما يسمح بدخول محلول المثبط من الفراغ الحلقى للقيسون. يتم ملئ الفراغ الحلقى للقيسون بمحلول

المثبط إلى مستوى كافئ ليعادل الضغط للثقب السفلى فى المواسير. المعالجة تتم باستمرار (بعد عمل الطبقة الأولية الكثيفة) بضخ محلول مثبط إضافى فى القيسون من قمة البئر.

3- آبار رفع الغاز : Gas – Lifted wells

وهذه لها مشاكلها الخاصة. فرفع الغاز هو أحد العمليات الإنتاجية حيث يمكن أن يكون الأكسجين السبب فى التآكل تحت السطح بالإضافة إلى H_2S , CO_2 تلوث الغاز المرفوع بالأكسجين أحدث تلف سريع لخطوط الغاز وانسداد لمحابس الرفع. أفضل علاج هو بإبعاد الهواء كلية عن الغاز المرفوع.

حتى فى حالة عدم وجود أكسجين، فإن دخول الغاز إلى تدفقات الإنتاج ينشط التآكل ويعمل على خفض عمر طبقة المثبط وذلك من خلال ما يسببه من اضطراب (Turblence). المحاولات للمعالجة بحقن مثبط مركز (كما يتم شراؤه) فى خطوط الغاز عند السطح باءت بالفشل بسبب تبخر المذيب وتكون الحمأة (Sludging). يمكن خفض هذا بتخفيف المثبط بالزيت إلى تركيز لا يزيد عن 10% بالنسبة للحجم بعض العمال يستخدم فتحة ضيقة للبثق لحقن المثبط فى خط الغاز للحصول على توزيع أفضل. يتم ضبط حجم المعالجة بالمثبط لتوفير من 15 – 25 ملجرام/ لتر من المثبط الذى يتم شراؤه فى إجمالى السائل المنتج.

نظراً لأن معالجة غاز الرفع تحمى فقط من أعلا محبس التشغيل ولأعلى، فإنه تتم الحماية التكميلية للمعدة السفلى وذلك بالحشر من آن لآخر فى التربة.

الحماية بالمثبط للآبار العميقة الساخنة :

Inhibitor protection of deep hot wells:

هذه خاصية إنتاج الغاز من تكوينات التربة على عمق يزيد عن 4000 متر. درجة حرارة قاع الثقب تتراوح ما بين 150°م وأعلا، وعادة يحتوى الغاز على من 5 إلى 20% من جزئيات CO_2 ومن القليل جداً إلى حوالى 35% من جزئيات H_2S. الضغط يمكن أن يتراوح ما بين 5000 رطل/ البوصة المربعة (35 Mpa) إلى 25000 رطل/البوصة المربعة (172 Mpa). الإنتاج الأولى للمياه يمكن أن يكون صفر ولكن فى معظم الحالات يزداد بكميات كبيرة.

عندما تكون درجة حرارة البئر المتدفق أكبر من 150°م، فإن استخدام البطانة الداخلية للمواسير كطبقة تغطية يعتبر مخاطرة ولذلك فإنه عادة يتم الاعتماد على استخدام المثبطات الكيماوية للحماية. كذلك تستخدم المواسير ذات نوعية خاصة من السبائك.

أ- مشاكل المثبط : **Inhibition problems**

تمت محاولات لمعالجة آبار إنتاج الغاز العميقة الساخنة الحامضية (المحتوية على H_2S) بالتدوير المستمر للمثبطات الكيماوية (فى زيت حامل ثقيل) أسفل القيسون عندما لا يكون هناك عازل الإنتاج (Packer) فى الفراغ المحيطى للقيسون. ولكن لسوء الحظ، الغاز المنتج يكون عادة تحت التشبع عند درجة حرارة وضغط البئر بالهيدروكربونات الأثقل من البروبين (C_3). نتيجة لذلك الزيت الحامل للمثبط يصبح مذاباً (أى يصبح مجال واحد) مع غاز الإنتاج ويتبخر تاركاً رواسب ثقيلة من الحمأة.

مشكلة تبخر المثبط يمكن التغلب عليها بالتخفيف بالزيت مع استمرار الحقن بحجم كبير كافى من المحلول لتشبع تدفقات الغاز المنتج بالهيدروكربونات الثقيلة.

درجة دون التشبع وبالتالى كمية الزيت المطلوبة لاستمرار المثبط فى الحالة السائلة تعتمد على :

- حجم ومكونات الغاز.
- درجة الحرارة والضغط.
- مكونات الزيت الحامل.

يجب عمل تحاليل تفصيلية للغاز وحسابات (PVT) لحالات كل بئر لتعيين ما إذا كانت معالجة المثبط باستخدام الحامل من الزيت مجدية من عدمة. بعض الآبار يتم معالجتها باستخدام حتى 48 متر مكعب من محلول المثبط بتركيز 1- 2 % كل يوم. خواص الزيت الحامل والحجم يتم تحديده باختبارات (PVT) بحيث يترك مذيب الزيت الكافى ليصل إلى قمة البئر فى الشكل السائل. الزيوت ذات مجال غليان حتى 210°م مع نقطة استعادة 70% عند 480°م تم استخدامها. تم استعادة الزيت وتدويره - غالباً يستخدم زيت الديزل ولا يتم استعادته لإعادة التدوير.

كذلك تم استخدام المحاليل المائية للمثبطات باستمرار عند درجة حرارة أعلا من 160°م، فإن كثيراً من المثبطات المذابة فى الماء أثبتت أنها غير مؤثرة. ولكن،

المنتجات الجديدة التى تم تطويرها بواسطة الصناعات الكيماوية أصبحت أكثر تـأثيراً كمادة مذابة فى الماء (أو منتشرة فى الماء باستمرار). هذه الصفة المميزة تعود أساساً إلى حقيقة أن الماء يظل فى الحالة السائلة عند درجة حرارة البئر المرتفعة والـضغط المرتفع ولا يتبخر كما يحدث عادة للمواد الزيتية الحاملة.

ب- تقنيات أخرى لاستخدام المثبط للآبار العميقة :

المعالجة بحشر التربة للمناطق العميقة الساخنة لا تستخدم عموماً للآتى :

تكاليف المعالجة من آن إلى أخر.

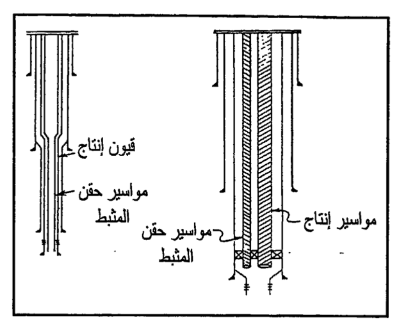
الخوف من إتلاف تكوينات التربة.

عدم القدرة على التحكم نحو تركيز عودة المثبط.

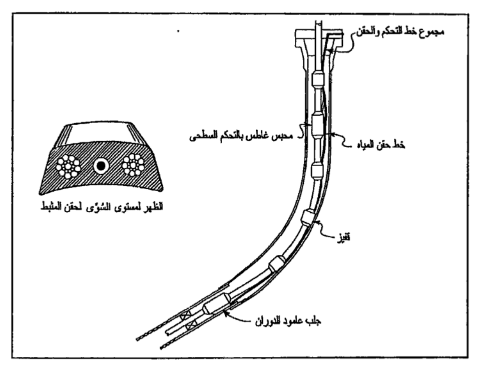
التقنية المتقدمة للاستخدام هى باستخدام مواسير حقن خاصة لحمل محلول المثبط مباشرة إلى قاع البئر. الشكل (1/31) يوضح نظامين للمواسير التى استخدمت لهـذا الغرض. وهذه ببساطة خطوط مواسير متحدة المركز، أحد هذه المواسـير لمحلـول المثبط والآخر للإنتاج. هذا النظام للمواسير المزدوجة مفضل.

المخطط البديل الذى أصبح الأفضل هو استخدام خطوط حقن المثبط ذات القطـر الصغير. وهذه تشبه خطوط التحكم الهيدروليكية تحت السطح الشكل (1/32) يوضـح أحد الأنواع. مادة التغطية المطاطية ذات الأساس مـن النيتريـل (Nitrile Rubber – Base) يمكن استخدامها حتى 3°م طبقاً لطبيعة سائل التكملة المتروك فى القيسون.

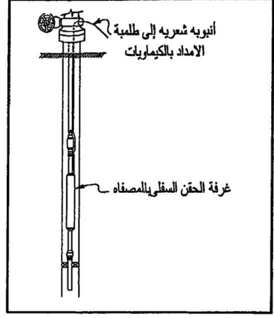
نوع آخر يستخدم خط أنبوبى يعمل بالخاصية الـشعرية (Capillary line) غيـر مغطى بطبقة تغطية من الصلب المقاوم (316L) موضح فى الـشكل (1/33). سـمك الجدار للخط الأنبوبى 0.5 مليمتر والقطر الداخلى 1.4 مليمتر. طاقة التدفق 19 لتر/ اليوم عند (83Mpa) ولزوجة (6Cp) للسائل. وهذا النظام حقق نتائج ممتازة.



شكل (1/31) نوعين من أعمدة الأكمال للحقن بالمثبط للآبار العميقة الساخنة



شكل (1/32) مقطع ومكونات خط التدفق



شكل (1/33) أنبوبة شعرية سفلية
قطر خارجى "0.094 قطر داخلى 0.054 بوصة

حماية معدات الإنتاج السطحية :

المثبط المحلول من معالجة آبار الإنتاج عادى يعتمد عليه فى حماية خطوط مواسير التدفق ومعدات الفصل للمجالات (أجهزة فصل الغاز، التخلص من الماء الحر، أجهزة معالجة المستحلب، .. الخ).

تستخدم معالجة إضافية بالمثبط عند السطح عند خطوط الغاز بالضغط المرتفع الحاملة لـ (H_2S) (Sour lines). الحاجة لمعالجة إضافية لتكثيف المثبط المحمول من الآبار المعالجة عادة تنتج من تبريد الغاز والتكثيف التالى للماء. التآكل يمكن أن يكون حاداً وبالتحديد عندما يكون ميل خط تدفق الغاز لأعلا والسرعة البطيئة تسمح لمياه القاع بالتحرك إلى أعلا الانحناء مع تكرار التدفق إلى أسفل. معدلات التآكل عند هذه النقط يتم رصدها باستمرار باستخدام جهاز القياس للسمك بالموجات فوق الصوتية.

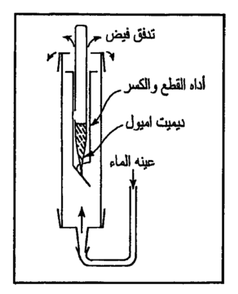
خزانات التجميع (Holding tanks) والأوعية المشابهة يتم تغطيتها عند القاع ولمسافة أعلا الأجناب حيث تتجمع المياه. عادة تستخدم الحماية الكاثودية بأنودات التيار المستمر لحماية السخان (Heater) وأجهزة المعالجة (Treaters).

البطانة الداخلية لخطوط مواسير التدفقات مثل الأيبوكسيات ذات الانصهار والألتصاق (Fusion bonded) عادة تكون مكلفة، خاصة للمواسير رقيقة الجدار الحاملة لمنتجات عدوانية.

التلف الذى يحدث كثيراً فى خطوط التدفق يكون بسبب تركيز التآكل عند وصلات اللحام. حيث يلزم المعالجة الحرارية للحام للتخلص من الإجهادات وتحقيق التجانس للبناء الجيبى للمعدن.

حماية نظم حقن المياه :

التآكل الحاد فى نظم حقن المياه غالباً يكون بسبب التلوث بالأكسجين المذاب. آثار قليلة من الأكسجين فى نظم تداول المياه الحامضية (Sour) المنتجة تكثف بشدة من العدوانية. ثانى أكسيد الكربون بمفردة عادة ليس مشكلة حادة بسبب انخفاض درجة الحرارة وانخفاض ضغط الغاز فى معظم نظم المياه. ولكن، إمداد المياه من الآبار العميقة بصاحبه أحياناً غاز غنى بثانى أكسيد الكربون الذى ينفصل عن المحلول مسبباً تآكل جيبى على طول قمة خطوط التدفق.



شكل (1/34) قياس الأكسجين المذاب فى مجرى تدفق باستخدام أمبول كيميتس

الأداء المثالى لتداول المياه المحتوية على H_2S , O_2 أو كليهما هو باستخدام المواسير البلاستيك أو المبطنة داخلياً بالبلاستيك أو بالمونة الأسمنتية. الفينولات المحمصة (على الساخن) والأيبوكسيات بالالتصاق بالصهر ثبت نجاحها فى حماية مواسير الآبار وخطوط مواسير الحقن للمياه الحامضية المحتوية على (H_2S).

خزانات الصلب لحفظ وتجميع المياه المحتوية على H_2S المنتجة عادة يتم تبطينها داخلياً بالبولى ايستر أو الأيبوكسى أو يتم حمايتها كاثودياً. فى جميع الحالات، حيث يوجد H_2S ، يتم إعداد الخزانات بالسوائل المانعة لوصول الهواء. أفضل طريقة مؤثرة لذلك هى بعلئ فراغ البخار للخزان بغاز خالى من الهواء تحت ضغط موجب فى جميع الأوقات. الإمداد بالغاز يجب أن يكون كافياً للمحافظة على الضغط المطلوب عند انخفاض منسوب السائل فى الخزان. الزيت العادى ليس مناسب كمانع ضد تسرب الهواء.

إمدادات المياه للحقن (Water flood) من المصادر السطحية أو من الآبار الضحلة عادة تحتوى على أكسجين مذاب الذى يجب إزالته. فى المياه المتعادلة ذات الملوحة المنخفضة/ تكون المعدلات الكلية للتآكل هى تقريباً تتناسب مع المحتوى من الأكسجين المذاب. ولكن، أى تركيز أقل من 0.05 ملجرام/لتر يمكن أن يسبب التآكل الثقبى وكذلك يعمل على نشاط ونمو البكتريا. ولذلك، فإن أفضل طريقة للحد من التآكل هى الإزالة الكلية للهواء. إما بطريقة التفريغ أو باستخدام ابراج الكسح والغسيل لإزالة الأكسجين (Stripping towers) المصممة جيداً حيث يمكن خفض المحتوى من الأكسجين إلى حوالى 0.1 ملجرام/لتر.

الأكسجين المذاب المتبقى، الغير مزال بأبراج الكسح يتم خفضه إلى الصفر بالمعالجة بالكيماويات المزيلة للأكسجين. وهذا يوصى به خاصة فى العمليات البحرية عند استخدام مياه البحر للطفو (Flooding) وحيث إمدادات المياه الخالية من الهواء يتم خلطها مع مياه الإنتاج المحتوية على H_2S قبل الحقن.

نظم التداول للمياه الخالية من الهواء المحتوية على H_2S (Sour) يمكن تثبيطها بالمثبطات العضوية المذابة فى الماء أو التى تشتت فى الماء.

المياه المهواة خاصة فى حالة وجود H_2S، يصعب تثبيطها، ولكن الجرعات عالية التركيز من آن إلى آخر من المثبطات العضوية يمكن أن تقلل من العدوانية ولكن هذه الطريقة لا تستخدم عادة.

مياه الحقن التى تم إزالة الهواء منها، مثل مياه البحر، التى تحتوى على الكبريتات المذابة (SO_4^{--}) تنشط نمو وتكاثر البكتريا المختزلة للكبريتات. هذه البكتريا تعمل على اختزال الكبريتات وتحولها إلى H_2S. رغم أن بكتريا اختزال الكبريتات مصنفة على أنها بكتريا لا هوائية (حيث تنشط فقط فى حالة عدم توفر الأكسجين)، إلا إنها

تسبب مشاكل عند وجود آثار قليلة من الأكسجين، حتى بطريقة متقطعة. السبب فى هذا هو أن البكتريا المختزلة للكبريتات تجد مجال بيئى مناسب على أسطح الصلب أسفل التراكمات من الأوساخ العضوية للاهوائية (Anaerobic slimes). ناتج نشاط هذه البكتريا من H_2S يسبب كلا من التآكل الثقبى والتآكل العام . المعالجة بالمبيدات الحيوية (Biocides) يعتبر حل مثالى وذلك عند إثبات نشاط البكتريا (الفصل 3 ، بند 2). النظافة من آن إلى آخر لخط المواسير بالكاشطات تفيد كثيراً فى التخلص من هذه التراكمات العضوية والأجسام الصلبة المرسبة والتى تنشط التآكل الموضعى.

المعدات الإضافية مثل الطلمبات والمحابس فى نظم المياه العدوانية تصنع من مواد مقاومة مثل الصلب المقاوم (316)، ومن (Inconel's) , (Monel k500). الومينوم برونز الدرجة D وكذلك النيكل الومينوم برونز لهم استخدامات شائعة فى طلمبات المياه. محابس السكينة من الألومنيوم برونز المغطى بالسيراميك تكون مناسبة.

رصد التآكل فى نظم حقن المياه :

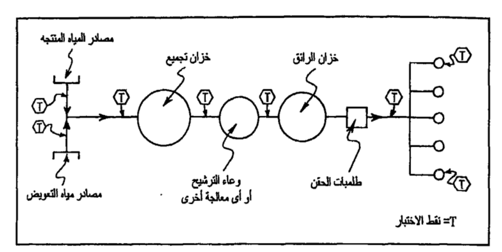
1- الاختبارات الكيماوية :

لكل تدفقات المياه وخلط المياه يتم علم تحليل كامل كيماوى معملى للأملاح وكذلك للحديد، H_2S ، O_2 لتعيين محتوى المياه منها. يتم تكرار التحليل من آن إلى آخر بالنسبة لكل من H_2S ، O_2 أثناء عمر العملية. شنط الاختبار الميدانية لقياس كلاً من الحديد المذاب ، H_2S ، O_2 متاحة. كذلك يمكن قياس الأكسجين المذاب بأجهزة قياس الأكسجين الميدانية مثل شنطة (Chemet) الشكل (1/34) يوضح قياس الأكسجين المذاب فى تدفقات المياه باستخدام أمبولات (Chemet)، حيث فى هذا الاختبار لا يحدث تداخل من ملوحة المياه أو من H_2S.

2- اختبارات معدل التآكل :

يجب عمل برنامج رصد التآكل عند بدء عمليات الحقن (خاصة فى نظم الغمر بالمياه Water floods ذات العمر الطويل). يكون من المهم قياس معدل التآكل عند نقط اختبار يتم اختبارها وذلك لمعرفة التغيرات التى تحدث مع مرور الوقت. نقط الاختبار التى يوصى بها موضحة فى الشكل (1/35). اختبارات معدل التآكل زائد تركيز O_2 أو H_2S يتم عملها دورياً عند هذه الأماكن لتوفير البيانات عن الشكل العام للتآكل

باستمرار للنظام. كذلك يتم تجميع عينات دورية لعد البكتريا عند نفس النقط. يفضل عمل اختبارات العينات (Coupon tests) للمراجعة وذلك عند استخدام مقياس الاختبار الإليكترونى.



شكل (1/35) نقط الاختبار المطلوبه فى نظام الحقن

عمليات تداول الغاز: Gas processing Equipment

فى عمليات التداول الحقلية للغاز، تتأثر شدة التآكل بنفس العوامل التى سبق مناقشتها، مثل الضغط الجزئى لـ CO_2، وجود H_2S ، درجة الحرارة، خواص المعدن، البرى بالمواد الصلبة. فى نظم الضغط، يتكون الماء السائل ويزداد معدل التآكل عند نقط تصادم المياه كما فى حالة مواسير الصرف، ومعدات الكشط (Scrubblers) ثبت جدوى المثبطات فى هذه الخدمة، خاصة المركبات الذى تذوب فى الزيت/ تتشتت فى الماء ولها مكون متطاير مثل داى ايثيل أمين $(C_2H_5)_2$ NH_4 – Diethy amine يختلف عن Diethanol amine $(C_2H_4OH)_2NH$ المستخدم فى إزالة H_2S من الغاز). التعادل بالحقن بالأمونيا السائلة إلى رقم هيدروجينى (pH) 7 – 8 فى مجال المياه المكثف مؤثر كذلك كطريقة تحكم.

المثبطات الزيتية الغير متطايرة يمكن أن تسبب ترسيبات عضوية (Fouling) لأجهزه تجفيف الغاز من الماء (Gas dehydrators)، خاصة نوع المجفف بحجز الحزئيات (Molecular seive desiccants). ولكن تم عمل التحكم فى التآكل فى مدخل أجهزة فصل الغاز، المبادلات الحرارية، معدة تنشيط طبقة المجفف بحقن داى إيثيل أمين $(C_2H_5)_2NH$ فى تدفق الغاز. معدل حقن المثبط يتم التحكم فيه بواسطة رصد

معدل التآكل. معدل إضافة المثبط يكون عادة كافياً لزيادة الرقم الهيدروجيني للمجال المائي 6.5 ~ 7.

معدة إزالة المياه بالجليكول (Glycol Dehydration Equiment) يمكن أن تتآكل بشدة إذا أصبح محلول الجليكول حامضى وملوث بالأكسجين. الرقم الهيدروجينى للمحلول يجب أن يظل فى المجال ما بين 7.5 – 8.5. التحكم فى الرقم الهيدروجينى باستخدام مادة التعادل من الأمين المتطاير (Volatile amine neutralizer) مثل المونو إيثانول أمين (Mono ethanol amine) أو المورفيلين يساعد فى إعاقة التآكل فى المنشطات (Regenerator over head). يمكن خفض تآكل الأكسجين بإضافة 0.5% بالوزن من مثبط صوديوم ميتابولى فوسفيت إلى الجليكول.

يوجد العديد من طرق إزالة الغاز الحامضى (H_2S , CO_2) كل منها له خواصه. الخطوط العامة الآتية يجب مراعاتها.

1. تجنب التلوث بالأكسجين.
2. حافظ على سرعات السائل ودرجة الحرارة إلى أقل ما يمكن.
3. كل الصلب والمواد يجب أن تكون مقاومة للتشقق الكبريتى بفعل الإجهاد والتآكل.
4. استخدام الترشيح لخفض تركيز الأجسام المسببه للبرى فى نظم إزالة الحموضة (Sweetening systems) باستخدام المونوايثانول أمين أو الداى ايثيل أمين يجب ألا يزيد التحميل عن 0.3 إلى 0.4 جزئ من الغاز الحامضى/ الجزيئى من الأمين. عموماً الداى إيثيل أمين أكثر ثباتاً وأقل احتمالاً ليسبب التآكل مقارنة بالمونو إيثانول أمين.

عمليات الإنتاج بالحفر فى البحر :

Offshore drilling – production operations

الآبار البحرية ومعدات الإنتاج معرضين لنفس مشاكل التآكل التى سبق مناقشتها وأساساً يتم عمل الخطط المشابهة. الفرق الهام هو الناحية الاقتصادية. إصلاح التلف فى المنشأ البحرى مكلف كثيراً. بالإضافة إلى أن الآبار البحرية هى عناصر إنتاج الحجم الكبير وعادة يكون التآكل بالبرى حاد (الذى يكون بسبب كلا من عدوانية السائل والمواد الصلبة المحتجزة). تقنيات إضافية خاصة متضمنة تثبيت رمل التربة واستخدام المصافى والظهير الزلطى (Gravel pack) يتم استخدامها لخفض البرى

بالمواد الصلبة فى الآبار وخطوط المواسير السطحية. خطوط التدفق يــتم تــصميمها لتجنب إنحناءات نصف القطر الصغير وكذلك عمل برنامج لرصد الفقد فى المعــدن. كذلك يتم اختيار مادة الصنع لمواسير البئر من سبائك خاصة (الفصل 7).

حماية منشآت الرصيف البحرى من التآكل بفعل البيئة البحرية تتم أساســاً بعمــل طبقات الحماية (الفصل 5) والحماية الكاثودية (فصل 4). فى المساعدة فــى تخطــيط نموذج لبرنامج الحماية، فإن ظروف التعرض على المنشآت البحرية تقسم إلى خمــسة مناطق هى: (1) الهوائية (2) الطرطشة (3) منطقــة المــد والجــزر (4) المنطقــة المغمورة (5) منطقة الطمى.

كلا من المنطقة الجوية ومنطقة الطرطشة يتم تغطيتها، وتستخدم الحماية الكاثودية لمنطقة المد والجزر وما تحتها. الجمع بين التغطية والحماية الكاثودية على المساحات المغمورة يتم اختبارها مع تحقيق نتائج جيدة.

1- التغطية (Coatings)

لتغطية مجموعة التعرض الجوى فإن نظام التغطية المستخدم عادة يتكــون مــن طبقة بطانة غنية بالزنك يتم استخدامها على السطح القريب من حالة البياض للمعــدن الذى تم إعداده وتنظيفه بالترميل. ثم طبقة أو طبقتين أو أكثر من إيبوكسى البولى أميد، الفينيل أو الأكليريك. يستخدم طبقة تغطية إضافية (Over coat) من البــولى يــوريثين فوق طبقة التغطية السميكة من الأيبوكسى وذلك لزيادة الحماية، خاصة على الأســطح المعرضة لبعض من البرى.

التغطية لمناطق الطرطشة (splash zones).

أ- الأيبوكسيات المسلحة بالشعيرات الزجاجية، وذلك فى طبقتين على المعــدن المعــد الأبيض النظيف إلى سمك طبقة جافــة 0.6 – 0.8 مليمتــر. درجــة حــرارة الاستخدام للتغطية تكون + 5°م أو أعلا من ذلك لسرعة الشك والتجمــد لمــادة التغطية.

ب- كذلك يستخدم البولى ايستر المسلح بالصوف الزجاجى لما له من قــوة التــصاق جيدة على السطح المعدنى النظيف الأبيض الذى تم إعداده بالرمالة ولكنه أكثــر هشاشة من الأيبوكسى، حيث يميل إلى التشقق فى حالة الثنى. ويحتاج إلى درجة

حرارة للطلاء من 10°م وأعلا. الصيانة الحقلية مجدية ومقاومة الصدمة والبرى عالية جداً. كذلك تصنف مقاومة البولى ايستر للحماية الكاثودية بأنها جيدة.

التغطية الموصى بها بطبقتين من التغطية من 0.5 مليمتر إلى 6.4 مليمتر.

جـ- الأيبوكسى المسلح بالسليكا. يستخدم على السطح اللامع النظيف السابق إعداده بسمك حتى 6.4 مليمتر، مقاومة الصدمة عالية، ولكن قوة الالتصاق أقل من تلك للبولى ايستر.

يوجد كثيراً من نظم منطقة الطرطشة والسابق ذكره هى أمثلة فقط.

الخبرة بالتغطية بالكولتار أيبوكسى فى منطقة الطرطشة أظهرت نتائج مختلطة. حيث أظهرت القبول العام فى الجو الدافئ كما فى حالة الشرق الأوسط ولكن حدثت تلفيات كثيرة فى مناطق بحر الشمال. الكولتار أيبوكسى أعطى نتائج جيدة على الأجزاء المغمورة كلية من مواسير الدفع بعد تنفيذ التغطية فى الجو الدافئ على السطح اللامع الذى تم إعداده ونظافته.

مواد تغطية أخرى لمواسير الدفع تشمل مطاط النيوبرين (Neoprene) سمك 11 – 13 مليمتر فى منطقة الطرطشة، كذلك استخدمت أكمام التغطية من البولى إيثيلين فوق طبقة المطاط وذلك مع استخدام مادة اللصق من مطاط البيوتيل (Butyl rubber). كذلك استخدمت شرائط اللصق من الأسفلت علىَ الساخن للوصلات الحقلية.

2- الحماية الكاثودية : (Cathodic protection)

معظم الأرصفة البحرية الثابتة تم حمايتها أسفل خط المياه بأنودات سبيكة الألومنيوم الضحية. يستخدم سبائك ألومنيوم خاصة تحتوى على الزنك والأنديام (Indium) لتوفير خرج تيار عالى وطول مدة الخدمة.

نظام التغذية بالتيار الثابت يستخدم على بعض الإنشاءات حيث تكون متطلبات التيار مرتفعة وفى المياه العميقة حيث الوزن الإجمالى للأنود الجلفنى يشكل خطورة. مادة الآنود المفضلة فى حالة التغذية بالتيار المستمر هى التيتانيوم أو من سبيكة خاملة المغلفة بطبقة من الألومنيوم.

. البيانات المناسبة عموماً والمقبولة للحماية هى أن كل الأسطح المغمورة فى الماء تشكل جهد ما بين المنشأ وماء البحر لا يقل عن –0.8 فولت (– 800 مليفولت) مقابل قطب الفضة/ كلوريد الفضة القياسى. الجهود أعلا من حوالى –1,1 فولت يتم عموماً

تجنبها لخفض مخاطر تفكك الطلاء الخارجى بفعل الحماية الكاثودية وكذلك احتمال القصافة الهيدروجينية للصلب عالى القوة.

تاريخياً، نظم الحماية الكاثودية للنظم البحرية تم تصميمها لتوفير متوسط متجانس من كثافة التيار (المليأمبير على وحدة المساحة) لكل أجزاء المنشأ – تصمم كثافة التيار المستخدم لتكون مرتفعة بما يكفى لاستمرار جهد الحماية عند – 0,8 فولت مقابل قطب الفضة/ كلوريد الفضة (Ag/Ag Cl). تم معرفة أن أقصى كثافة تيار تتغير كثيراً من مكان لآخر وكذلك من القمة إلى القاع على المنشأ الواحد بسبب الاختلاف فى بيئة التعرض والتى تشمل سرعة مياه البحر، المحتوى من الأكسجين، درجة الحرارة، الترسيبات على سطح المعدن مثل الصدأ والرواسب الكلية. الشكل الأخير هو نتيجة الحماية الكاثودية. ملوحة مياه البحر تكون متجانسة ولكن يمكن أن يكون ذلك متغير آخر للمنشآت القريبة من الشاطئ.

لقد وجد أن أفضل حماية وكفاءة للحماية الكاثودية يتم تحقيقها عند وصول كثافة التيار المناسبة إلى كل المعدن الغير مغطى وذلك لاستمرار بناء طبقة رقيقة وكثيفة متجانسة من الترسيبات الكلية الكاثودية. كثافة التيار الملاحظة اللازمة تتراوح من الصيف المنخفض لـ 62 مليأمبير/ المتر المربع إلى الشتاء مرتفعا إلى 340 ملي أمبير/ المتر المربع. بناءاً على بيانات الاختبار، بدأ أن كثافة التيار الأولية من 160 مليأمبير/ المتر المربع أنها مناسبة عند الأعماق المتوسطة فى الظروف المتوسطة. الجزء من الرصيف بالنسبة لأغطية الأرجل والحوائط الساندة (Support piling) عند وأسفل خط الطمى يتم عادة حمايته بنظام الحماية الكاثودية المستخدم للأجزاء المغمورة. هذه المساحات يجب أن تراعى عند حساب إجمالى المساحة المغمورة المطلوب حمايتها، وخاصة فى الأماكن حيث حركة المياه يمكن أن تسبب الإزاحة لأرضية البحر والتحرك أثناء العواصف.

الفصل التاسع

التحكم فى التآكل فى مشروعات زيادة الإنتاج

Corrosion Control In Enhanced Recovery Projects

ثانى أكسيد الكربون (CO_2) لنظم زيادة الإنتاج :

العمليات المستخدمة لحقن ثانى أكسيد الكربون لزيادة إنتاج البترول زاد عددها فى جميع العالم وذلك منذ عام 1972. رغم الأبحاث الكثيرة والاختبارات الحقلية للمواد المقاومة للتآكل مازال مستمراً، إلا أنه تم توفير المعلومات الكافية للخطوط الإرشادية للحماية من التآكل. تم اقتراح ومحاولة العديد من الخطط لاستخدام ثانى أكسيد الكربون لزيادة أقصى استعادة لزيت البترول. عموماً تتوقف خطط الاستعادة على لزوجة زيت الخزان الجوفى بفعل الإذابة لغاز CO_2 والإزاحة للزيت بالسائل الغنى بـ CO_2. فى أحد العمليات المحببة يتم أولاً استبدال حقن غاز CO_2 بحقن الماء لتحسين كفاءة الدفع (Sweep) (عملية تبادل الماء الغاز) يليها الماء العادى أو الماء المكربن كسائل للدفع.

يتم الحصول على غاز CO_2 من محطات تصنيع الغاز ومن الآبار المنتجة لثانى أكسيد الكربون عالى النقاء. يتم ضغط غاز CO_2 إلى الحالة فوق الحرجة، حوالى 2177 رطل/البوصة المربعة (15Mpa) قبل دفعه فى خطوط مواسير التوزيع وبالتالى إلى آبار الحقن المنفردة.

1- شدة العدوانية وآليات التآكل :

تم فى القسم (1) بند (1) مناقشة العدوانية المتوسطة نسبياً لـ CO_2 (فى الماء) على الصلب الكربونى عند تركيزات منخفضة لـ CO_2 وعند درجات الحرارة المنخفضة. ولكن التآكل بفعل CO_2 يمكن أن يكون شديداً عند الضغط الجزئى العالى وعند درجات الحرارة العالية. التآكل يمكن أن يكون موضعى فى شكل ثقوب عميقة، ولكن أحياناً تنمو الثقوب معاً لتكون مساحة فجوية كبيرة. عند درجات حرارة أعلا من 60°م أحياناً بعض من نواتج التآكل من كربونات الحديد تغطى مساحات من المعدن بينما مساحات مجاورة تتآكل بشدة، تاركة جزء من المعدن.

معدلات التآكل فى المجال من 3 – 6 مليمتر فى العام لوحظت فى الأمـــاكن ذات التآكل النشط فى كل من المعمل وفى الظروف الحقلية.

الحقيقة التى يصعب فهمها هى أن حامض الكربونك الذى هو CO_2 , H_2O يمكـــن أن يكون أشد عدوانية أكثر من الحامض القوى مثل حامض الهيدروكلوريك عند نفس الدرجة والمستوى من الرقم الهيدروجينى (pH). التآكل المنتج لتـــصاعد الهيـــدروجين يمكن أن يحدث عند رقم هيدروجينى (6) مع ثانى أكـــسيد الكربـــون، بينمـــا يكـــون المطلوب رقم هيدروجينى (4) لتصاعد الهيدروجين مع حامض الهيدروكلوريك شديد التأين. اقترحت الدراسات فقط أن جزئ حامض الكربونيـــك (H_2CO_3) يـــتم اختزالـــه كهروكيميائياً مباشرة عند الكاثود بدون أن يحدث له تأين أولاً.

$$H_2CO_3 + 2e^- \longrightarrow H_2 \uparrow + 2HCO_2$$

CO_2 المذاب فى الماء الملتصق مع غاز CO_2 النقى يوجد فى المحلول أساساً فـــى شكل جزئ CO_2 أو ثانى أكسيد الكربون المائى ($CO_2.H_2O$). عدم الاستقطاب الـــسريع المباشر بالاختزال المباشر لأيونات الهيدروجين (H^+) يمكن أن يكون السبب الرئيـــسى لماذا التركيزات العالية من CO_2 تكون شديدة العدوانية.

2– طرق التحكم فى التآكل فى بيئة CO_2 :

المناقشة التالية هى من دافع خبرة المؤلف، ومشاركة العديد من الباحثين وموردى المعدات والكيماويات.

أ– آبار الإمداد بغاز CO_2 :

هى عبارة عن مواسير مع مواسير القيسون عازلة الإنتاج (packers). المواســـر هى من (J. 55) مبطنة من الداخل بطبقة من الأيبوكسى المعالج بالفينولات بسمك 6 – 8 مليمتر فوق طبقة بطانة من الفينوليك.

سوائل عازلة الإنتاج تتكون مياه مالحة معالجة بمادة سائلة من السلفيت الذى يزيل الأكسجين (200 جزء فى المليون) ومثبط مذاب فى الماء (500 جزء فى المليون).

ب– رؤوس الآبار لإمداد غاز CO_2 : CO_2 gas supply well heads

رؤوس الآبار غاز ثانى أكسيد الكربون المنتجة للقليل جداً من الماء تكون عـــادة من الصلب الكربونى المبطن من الداخل بالبلاستيك ، يفـــضل (AISI 4130 / 4140).

المحابس من الصلب مع البوابات من السيراميك (Ceramic gates) هى المستخدمة عادة. كل رؤوس الآبار من الصلب المقاوم (304 أو 316) استخدمت بنجاح حيث الغاز المنتج يحتوى على أكثر من 0.04 متر مكعب من الماء (1 جزء فى المليون) بكل 28 متر مكعب (مليون قدم مكعب). ولكن درجة حرارة رأس البئر يجب أن تكون أقل من 65°م لتجنب مخاطر التشقق بالإجهاد للصلب المقاوم للأوستينيت بفعل الكلوريدات فى مياه الإنتاج.

لا توجد إثباتات عن استخدام الصلب المقاوم الفيريت عالى الكروم فى تصنيع رؤوس الآبار. الصلب المقاوم المثبت (Stabilized) الفيريت 18 كروم – 2 موليدينوم يمكن تصنيعه ولحامة ويباع فى مجال 18 كروم – 8 نيكل أو ستينيت 316 المقاوم وليست له حساسية ضد التشقق بالإجهاد والكلوريدات.

يتوفر خط كامل لمكونات رأس البئر بما فيها محابس السكينة، حاملات المواسير، والفلنجات والتى تكون محمية داخلياً بواسطة بطانة من سبيكة مقاومة للتآكل تم وضعها بعملية الضغط المتساوى من جميع الجهات على الساخن.

جـ- خطوط جمع الغاز :

ثانى أكسيد الكربون الرطب (المحتوى على الماء) المتجمع من آبار الإمداد، أو الغاز الغنى بـ CO_2 من إمكانيات الإنتاج، يتم تداوله فى خطوط تجميع من الصلب الكربونى والتى يمكن أن تكون إما موصلة بالقلوظه أو بالجلب أو باللحام.

خطوط الصلب العارية تتم حمايتها الداخلية بالمثبطات الكيماوية المثبطات المذابة فى الماء تكون مفضلة وخاصة عندما يكون هناك ماء كافى ليتراكم فى الأجزاء المنخفضة لخطوط التدفق. عند وجود H_2S كذلك فى الغاز الرطب الغنى بـ CO_2 من أجهزة الفصل للإنتاج، يستخدم المثبطات المذابة فى الزيت/ وتشتت فى الماء مثل تلك المستخدمة عادة لمعالجة اسفل فتحة البئر لحماية خط التجميع. معدلات المعالجة بالمثبط يتم ضبطها لتوفير معدل منخفض للتآكل على الفقد فى الوزن لعينات الاختبار. يمكن كذلك حماية خطوط تجميع الغاز بالتبطين الداخلى للمواسير بالبلاستيك مثل (Baker BTS Plasticap 400 Or Tuposcope TK69) أو بالتبطين بالمونة الأسمنتية المقاومة للكبريتات الغنية بركام (Pozzolan).

الخطوط المدفونة تتم حمايتها الخارجية عادة بالتغطية بالكولتار، وحمايتها كاثودياً.

محابس الألومنيوم برونز الدرجة (9D) أو الصلب المقاوم 410 مثل (Cameron FL) تستخدم عند درجات حرارة أقل من 120°م. درجات حرارة أعلا ليست مفضلة فى نظم التجميع.

د- محطات الضواغط :

حقق الصلب المقاوم (AISI 304L) مقاومة جيدة للتآكل للمواسير الرطبة لمحطة الضاغط، وأنابيب التبريد (Cooling coils). مواسير الضاغط والمبردات المرحلية (Interstage) المصنعة من الصلب الكربونى تم حمايتها كذلك بالحقن المستمر فوق التيار بالمثبطات المذابة فى الزيت/ المشتتة فى الماء. فقد المثبط خلال صرف المياه كان مشكلة حيث استخدمت عدة نقاط لحقن المثبط لتأكيد من كل الأسطح تم تغطيتها بطبقة من المثبط. الزيادة فى المثبط المحمول يجب إزالتها قبل أجهزة التجفيف (Dehydrators) لمنع حدوث التراكمات والعفن العضوى (Fouling).

تدفقات ثانى أكسيد الكربون الرطب يجب أن تمر خلال مقطع المواسير للمبادلات الحرارية وليس خلال غلاف المبادل المصنع عادة من الصلب الكربونى.

أنابيب المبادل المصنوعة من الصلب المقاوم (316L) ثبت جدواها عند درجة حرارة أقل من 95°م. عند درجات الحرارة الأعلا وفى وجود الطلوريدات، H_2S يكون من المناسب استخدام سبائك الصلب المقاوم الفيريت مثل (E Brite 26-1 والتى تحتوى على 26 كروم، 1 مولبدينوم)، وكذلك يمكن استخدام (Air covacuum Metals). السطح الداخلى للمواسير يتم تغطيته بسبيكة ذات محتوى عالى من النيكل مثل (Inocel 625) وهذه ذات كفاءة جيدة.

هـ - خطوط مواسير CO_2 وخطوط التوزيع :

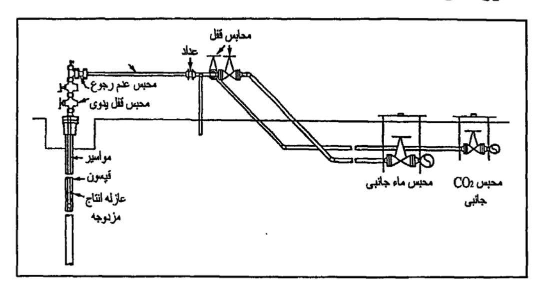
إزالة الرطوبة (Dehydration) هى الطريقة الأولى للحماية من التآكل لخطوط المواسير وخطوط التوزيع بين محطات الضواغط وآبار الحقن. يتم إزالة الرطوبة من ثانى أكسيد الكربون عادة بين المراحل الثالثة والرابعة للضغط بالكسح بالتيار المعاكس (Counter current stripping) فى أبراج إزالة الرطوبة باستخدام (TEG – Triethy lene glycol). المحتوى من الماء المتبقى يكون منخفضاً بما يكفى لعدم وجود مجال سائل الماء عند أدنى درجات الحرارة وأعلا ضغط يوجد فى نظم توزيع الغاز المضغوط (الأقصى 50 جزء فى المليون). الصلب المقاوم من النوع 304 يستخدم

عموماً للأجزاء الداخلية لأجهزة إزالة الرطوبة. كذلك يستخدم الصلب المقاوم الفيريت 18 كروم – 2 موليبدينوم.

و – رأس البئر لحقن CO_2 /الماء :

تنظيم آبار الحقن للحقن المتبادل لكل من ثانى أكسيد الكربون/ الماء موضح فى الشكل (1/36). فى تصميم آخر يتم التوصيل لكل من خطوط التدفقات لحقن ثانى أكسيد الكربون والماء لرأس البئر المنفصلين.

الأسلوب العادى حالياً هو بالعزل الكامل لخطوط تدفقات المياه القادمة بواسطة طبة عمياء أثناء فترات حقن ثانى أكسيد الكربون. وبهذا حقق التخلص من مشاكل التآكل الحادة الناتجة عن تسرب ثانى أكسيد الكربون خلال محابس الكورة أو محابس السكينة إلى خطوط المياه المقفلة. وبالمثل خط ثانى أكسيد الكربون يتم سده (Blocked) أثناء دورة حقن الماء.



شكل (1/35) نموذج لبئر حقن CO_2 /ماء

ز– نظم تجميع وحقن المياه :

يستخدم العديد من المواد فى خطوط تجميع المياه طبقاً للقطر والضغط، بما فيها البولى إيستر المسلح بالصوف الزجاجى أو الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى وذلك لضغط حتى 2000 رطل/ البوصة المربعة (13.8Mpa). المواسير المبطنة بالأسمنت بقطر خارجى 7 – 36 سم تم استخدامها. البطانه الأسمنتية عبارة عن النوع

عالى الكثافة المقاوم للكبريتات مع البوزولانز (Pozzolzns) الصناعى ولكن بدون رمل أو أى مادة ملئ خاملة. مادة التبطين يتم وضعها بالطرد المركزى للمواسير فى مصنع التغطية.

المواصفات لوصف طرق لحام الوصلات الحقلية للمواسير المبطنة بالمونه الأسمنتية هى (APIRPLOE). كذلك البديل هو التوصيل بالجلب البلاستيك مع استخدام لحامات من حلقات المطاط. اللحام هو الطريقة المستخدمة عادة. ثبت العديد من التسربات فى اللحامات الحقلية للوصلات عند استخدام جوانات الأسبستوس عند الوصلات لحماية البطانة الأسمنتية أثناء عملية اللحام. حالياً تستخدم مركبات خاصة بدلاً من جوانات الأسبستوس حيث تستخدم مواد أسمنتية (Groutsuch ax X – Pandocompound). مواصفاتAPIRPIOE تسمح باستخدام إما الجوانات أو المونة الأسمنتية الخاصة عند وصلات اللحام.

خزانات جمع المياه (Holding tanks) يتم التبطين لسطحها الداخلى بمادة البلاستيك من الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى مع عمل طبقة من الغاز لمنع وصول الهواء.

ح – التآكل أسفل فتحة البئر فى آبار الحقن :

بعض من التآكل الحاد جداً فى مشروعات ثانى أكسيد الكربون (حتى 6 مليمتر فى العام) حدث على السطح الخارجى لمواسير الحقن وكذلك داخل القيسون. خطوط المواسير توضع على عازلة الإنتاج للقيسون (Casing packer)، والفراغ المحيطى يملأ بالمياه المالحة الخالية من الهواء والمعالجة بالمثبطات المذابة فى الماء.

أثناء دورة حقن CO_2، حدث تسرب للغاز خلال وصلات المواسير ثم إلى أعلا خلال عوازل الإنتاج، مشبعاً بسائل عازل الإنتاج من المياه المالحة. تم التحكم فى هذا التسرب خلال عوازل الإنتاج باستخدام مجموعة مزدوجة من عوازل الإنتاج المغطاة بالبلاستيك والمزودة بمادة لحام من المطاط الصناعى المقاوم لثانى أكسيد الكربون. كذلك فإن استخدام المزلقات الخاصة من مادة التيفلون خفضت أحياناً من تسربات الوصلة.

المواسير المبطنة من الداخل بالبلاستيك بطبقة بسمك 0.18 مليمتر من الأيبوكسى المعالج بالمادة الفينولية فوق بطانة فينوليه التصقت بطريقة جيدة. ولكن تآكل الجلب ورؤوس اللولب مع ما ترتب عليه من تسرب كان قد حدث. تم خفض

التآكل الداخلى لوصلات الجلب بالتغطية بطبقة تغطية من البولى إيثلين سلفيد. البعض يستخدم طبقة أكثر سمكاً (0.32 مليمتر) للبطانة الداخلية للمواسير لخفض التلف من خط السلك والتلف الميكانيكى أثناء الاختبار. مثال لذلك الفينولات الأيبوكسية بالصهر.

زيادة عمر الخدمة بمنع حدوث الوصلات المعينة ثم يعمل برنامج الرفع والاختبار من آن إلى آخر لمواسير الحقن. طرق التفتيش شملت الملاحظة البصرية بعد نظافة الوصلات ورؤوس المسامير، قياس سمك الجدار بواسطة التقنيات الكهرومغناطيسية والفوق الصوتية. مع خفض سمك الجدار إلى 30% أو أقل، ثم إعادة استخدام الوصلات وإعادة تغطيتها طبقاً للمطلوب قبل الاستخدام. استخدم التبطين بالمونة الأسمنتية المقاومة للكبريتات لمواسير الحقن فى آبار حقن CO_2، حيث تم معالجة سطح البطانة الأسمنتية لتوفير المقاومة ليس فقط ضد CO_2 ولكن ذلك ضد حامض التنمية المستخدم لمعالجة تكوينات التربة من الحجر الجيرى.

ط – آبار الإنتاج وخطوط التدفق :

اختراق ثانى أكسيد الكربون وزيادة نسبة الماء فى آبار الإنتاج يمكن أن يحدث خلال شهور قليلة بعد الحقن الأولى لتربة الدولوميت المتشققه. معدلات التآكل تزداد بسرعة من الضعف إلى أربع أضعاف على عينات الاختبار لرأس البئر ومعدات أسفل فتحة البئر وبالتالى يزداد معدل التلف فى الآبار مع القليل من المعالجة بالمثبط أو بدونها.

كثير من التلف للمواسير كان يعود إلى تآكل الدودة الحلقية عند نهايات الطرق (الشغل) الميكانيكى للوصلات. طبقاً للخبرة السابقة فى آبار تكثيف الغاز المنتجة للغاز الغنى بثانى أكسيد الكربون، تم التخلص من مشكلة تآكل الدودة الحلقية بالمعالجة الحرارية للتطبيع للطول الكلى للمواسير بعد الشغل الميكانيكى (Normalizing).

المعالجة العادية المرحلية أسفل الفراغ الحلقى للقيسون باستخدام طبقة من مثبط الأمين عادة تستمر فى آبار الضخ بالعامود. النتيجة النهائية كانت جيدة حتى فى حالة زيادة المحتوى من ثانى أكسيد الكربون فى الغاز المنتج إلى 15% أو أكثر وحيث تكون درجة حرارة قاع الثقب منخفضة لحوالى 70°م. معدلات المعالجة تزداد من مرة واحدة من 7 – 10 أيام إلى 2 – 3 مرة كل أسبوع مع زيادة إنتاج CO_2 والماء.

أعمدة الطلمبات المستخدمة لمعدن المونيل (Monel 400) للكباس والغلاف وكل الأجزاء المبتلة تم استخدامها بدون حدوث أى مشاكل.

التلف لجسم القضيب ثم خفضه بالتحول إلى استخدام قضبان السحب (Sucker rods) من البلاستيك المسلح بالصوف الزجاجي وكذلك بتغطية قضبان الصلب بالبلازما بطبقة تغطية من الصلب المقاوم (316) والمغطاة بطبقة من الأيبوكسى على الساخن.

عند استخدام قضبان البلاستيك المسلح بالصوف الزجاجي فإنه يستخدم فى الثلث السفلى لعامود القضيب سبيكة من الصلب المقاوم المغطاة أو المقاومة للتآكل وذلك لتحقيق الوزن (الثقل).

زيادة إنتاج المياه تضع زيادة الإجهاد على أعمدة الطلمبات وعادة يكون من الضرورى إنشاء طلمبات غاطسة كهربية وذلك للاقتصاد عند تداول أحجام ضخمة من السوائل.

تلف الكابل الكهربى هو من المشاكل الرئيسية مع الطلمبة الكهربية الغاطسة وذلك بسبب الانتفاع وحدوث التسرب للغطاء الطافى بواسطة CO_2 ، الميثان. مواد التغليف المقاومة للغاز المغلفة فى تسليح معدنى رغم أنها مكلفة إلا أنها مدة استخدام كبيرة ما بين تغيرات الطلمبة.

تآكل محرك الطلمبة الغاطسة الكهربية وكذلك الغلاف الخارجي للطلمبة أحدث مشاكل كثيرة. لم يثبت بنجاح استخدام المعالجة بحشر المثبط ذلك بسبب المعدل العالى لإنتاج السائل واستمرار المعالجة أسفل الطلمبة خلال مواسير شعرية، والذى يسبب مشاكل ميكانيكية بسبب محدودية المساحة الفراغية. الصلب المقاوم 304 ثبت جدواها لكل من المحرك وغلاف الطلمبة. الصلب المقاوم الفيريت 18 كورم – 2 مولبدينوم يعمل كذلك جيداً فى الآبار الساخنة أعلا من 100°م المنتجة لمياه مالحة عالية الكلوريدات.

خطوط التدفق الموجودة من الصلب العارى يتم حمايتها بزيادة معالجة المثبط أسفل آبار الإنتاج، على الأقل أثناء المرحلة الأولى لعمر مشروعات CO_2 . الاستبدال عادة يتم باستخدام ماسورة من الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجي وذلك للخدمة فى الضغط المرتفع. الحماية الخارجية لخطوط التدفق المدفونة تتم بالتغطية بالكولتار المغلف بطبقات من الصوف الزجاجى أو من الأسبستوس، والحماية الكاثودية.

ى – وحدات إزالة ثانى أكسيد الكربون : CO_2 Removal plants

يتم استخلاص ثانى أكسيد الكربون من الغاز المنتج لإعادة تدويره فى عمليات الحقن. تستخدم عمليات كلاً من كربونات البوتاسيوم الساخنة، المونوإيثانول أمين (ATSACROC).

أغلفة إعادة الغليان لأجهزة كربونات البوتاسيوم الساخنة تنشأ من الصلب المقاوم 316L، 304L يستخدم فى استبدال المواسير، الصلب المقاوم الفيريت المحتوى مالا يقل عن 18% كروم، 1 – 8% موليدينوم يكون مناسبا كمواد تغطية لهذه الخدمة. التآكل فى وحدات المونايثانوال أمين المصنعة من الصلب الكربونى والصوانى من الصلب المقاوم، المواسير العلوية والمحابس يمكن أن تخدم عندما تكون الظروف حادة كما فى حالة زيادة لنواتج التحلل للمونو إيثانول أمين. يمكن خفض التآكل باستخدام مثبطات خاصة من الإيثانول أمين والتحكم الجيد فى عملية إزالة H_2S. (Sweetening).

السبائك فى بيئة H_2S/ CO_2 :

السبائك ذات المحتوى القليل من الكروم حتى 13% (AISI410/420) لها مقاومة جيدة لثانى أكسيد الكربون فقط عند ضغط جزئى لثانى أكسيد الكربون حتى 435 رطل على البوصة المربعة (3Mpa) وعند درجة حرارة حتى 50°1م. تزداد المقاومة بزيادة المحتوى من الكروم والصلب المقاوم 18% كروم – 8% نيكل (304 ، 316) وجد أنه مناسب عند تركيزات ثانى أكسيد الكربون تعادل 2177 رطل/البوصة المربعة (PCO_2 = 15 Mpa) عند درجات الحرارة المنخفضة أقل من 80°م. ولكن السبائك 18 – 25% كروم مع أقل من 30% نيكل عموماً ذات حساسية للتشقق الكبريتى بالإجهاد (SSC) وكذلك للتشقق بفعل الإجهاد والتآكل (SCC). بالإضافة إلى أن مقاومتها للتآكل الثقبى تنخفض فى وجود H_2S والكلوريدات خاصة عند درجات الحرارة الأعلى من 80°م أو عند التلوث بالأكسجين.

دوافع التلف لسبائك الكروم العالى فى وجود H_2S، مع أسعارها المرتفعة كان الدافع للبحث عن سبائك مقاومة اقتصادية. تم مناقشة استخدام سبائك الألومونيوم برونز سابقاً مثل السبيكة (9D) والنيكل ألومونيوم برونز. هذه ثبت مقاومتها للتآكل فى

نظم الحقن للمياه الحامضية المحتوية على H_2S (Sour)، وكذلك تناسب الاستخدام حقن وتداول CO_2.

السبائك ذات المحتوى الأكثر من 90% ألومنيوم تستخدم فى تـصنيع الأسـقف لخزانات حفظ الزيت المحتوى على H_2S وفى تصنيع الغاز وعمليات التكريـر حيـث المعدن معرض إلى الملوحة المنخفضة أو المياه المكثفة فى وجـود CO_2 , H_2S و O_2 عند درجات الحرارة المنخفضة أقل من 40°م. البيانات الحديثة أظهـرت أن سـبائك ألومنيوم معينة مثل ((ALCOA6061 – T6K X6013 – T6K 5086) يمكن أن تفيد فـى بيئة CO_2 والبيئة الرطبة لخليط CO_2 / H_2S. يجب الحذر نحو تعرض سبائك الألومنيوم للمياه المالحة المحتوية على أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالإضافة إلى (NaCl).

الفصل العاشر

الكشف عن التآكل ورصده

1ـ الكشف المبكر :

شواهد حدوث التآكل بمعدل كبير يمكن اكتشافها عادة بالاختبار بالنظر للمعدة التى حدث بها هذا التلف. ويمكن أن يكون الغرض حدث به كسر، تشقق أو ثقوب وعادة تكون هناك مخلفات لنواتج تفاعل التآكل على السطح. المثالى، أنه لا يسمح باستمرار التآكل أكثر من ذلك. وبالتالى السؤال، كيف يمكن الكشف عن التآكل وقياس نشاطه قبل حدوث التلف؟ والإجابة السهلة كانت باستخدام تقنيات تمنع حدوث التآكل.

وصعوبة الكشف المبكر تعتمد على عاملين :

1. المعدل الغير منتظم للتآكل فى أماكن مختلفة فى نظم الإنتاج.
2. عدم الإذابة لنواتج تفاعل التآكل.

الكشف عن التآكل وتقييم شدته يصبح سهلاً فى حالة عدم وجود هاتين الحالتين. كل ما هو مطلوب هو رصد تركيز المعدن المذاب فى المجال المائى وحساب معدل الاختراق لوحدة المساحة لسطح المعدن المعرض.

وعملياً، رصد التآكل عادة يتحدد بواحد أو أكثر من الطرق الآتية :

1– قياس العدوانية النسبية لسوائل النظام باستخدام الأجهزة الحسية (Sensors) وافتراض أن معدلات التآكل تكون متناسبة.

2– قياس اختراق التآكل الحقيقى على المعدة المعرضة باستخدام جهاز قياس السمك (Calipers)، أو قياس السمك بالموجات فوق الصوتية أو باستخدام الإشعاعات (Radiography).

أ– **تقاس عدوانية السوائل :** تحليل السوائل المنتجة بالنسبة للحديد المذاب وحساب المعدل الكلى للتآكل.

2ـ تجهيزات رصد عدوانية السائل :

أجهزة الاحساس بالتآكل (Corrosion sensors)، هى عموماً، تفيد كثيراً لإظهار الآتى: (1) الاختلاف فى معدلات التآكل عند النقط المختلفة فى سطح المعدن.

(2) الاختلافات عند أماكن محددة خلال فترة زمنية.

(3) التغيرات فى معدل التآكل نتيجة المعالجة بالمثبط. القيم التى تقاس ترتبط بمعدلات التآكل الحقيقية كما يجب عدم تفسيرها كقياسات حقيقية.

فالبيانات التى يتم الحصول عليها بتجهيزات الاختبار تعتبر قياسات لعدوانية السائل عند نقط التعرض.

والجدول الآتى يوضح بعض الأنواع الجيدة لأجهزة الإحساس بالتآكل أو رصده المستخدمة فى اختبارات معدل التآكل. أجهزة الإحساس بالتآكل مثل عينات الاختبار وقضبان القياس الإلكترونية عادة يتم تحميلها خلال خطوط التدفق. توجد كثير من أجهزة الإحساس أسفل الثقب للبئر. ولكن الكثير يفضل رصد التآكل أسفل السطح بالاختبارات عند رأس البئر.

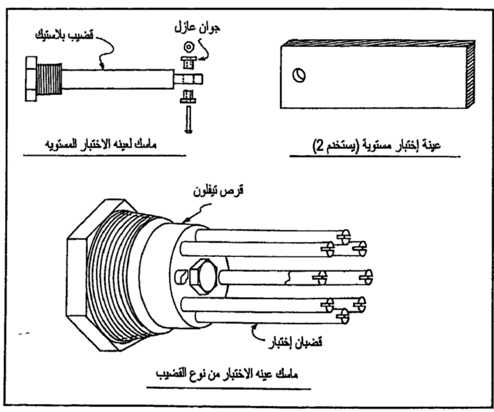
جدول التجهيزات لقياس عدوانية السائل :

نوع جهاز الإحساس	طبيعة الأداء والاستخدام
عينة الاختبار الحلقية المستوية	تمثل فقد فى الوزن وحدوث ثقوب.
صامولة مقلوظة من الجانبين (نبل)	القراءة المباشرة لمعدل التآكل من زيادة المقاومة الكهربية مع خفض حجم عينة الإحساس.
قضيب مقاومة الاستقطاب.	القراءة المباشرة لمعدل التآكل من فرق الجهد (E) والتيار المستخدم (I) والعلاقة بينهما والتى تعطى قيم (R).
قضب الهيدروجين	يكتشف معدل اختراق (H_2) خلال القضيب أو جدار الماسورة.
القضيب الجلفنى	يكتشف التغيرات فى العدوانية كدلالة لتدفق التيار بين أقطاب المعادن الغير متماثلة.

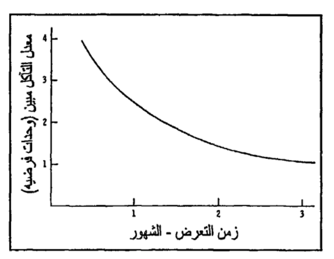
3ـ قياس اختراق التآكل الحقيقي :

1- عينات الاختبار بفقد الوزن :

عينات الاختبار مثل تلك الموضحة فى الشكل (1/37) توفر نتائج خلال شهر إلى ثلاث أشهر. عند عمل التكرار للاختبار بالعينات فى أماكن معينة فإن زمن التعرض يجب أن يكون ثابتاً وذلك لعمل اختبارات مقارنة يعتمد عليها. السبب فى ذلك هى أن المعدلات الأولية للتآكل على العينات النظيفة تعتبر عالية ولكنها تميل إلى الانخفاض مع الوقت كما هو موضح فى الشكل (1/38). عينات الاختبار المعرضة لمدة شهرين أو ثلاث أشهر تبين انخفاض معدلات التآكل أكثر من العينات المعرضة لمدة شهر واحد، حتى فى حالة استمرار ثبات العدوانية الحقيقية للمياه يتم دائماً وضع عينات الاختبار بحيث تكون معرضة لمجال الماء العدوانى. الشكل (1/39) يوضح تجهيز عينة الاختبار فى مصيدة المياه على خط مواسير الزيت أو الغاز. عينات الاختبار المعرضة لمجال الزيت أو الغاز فقط لا تعكس فقط عدوانية المياه المتدفقة على طول قاع خط المواسير.



شكل (1/37) نوعين من عينات اختبار التآكل والماسك



شكل (1/38) يوضح بيانات عينات الاختبار وتغيرها مع الوقت

لاحظ أنه فى الشكل (1/39) يستخدم مزلج (Lubricator) لعينة الاختبار لإدخال وإخراج العينه عندما يكون خط المواسير تحت الضغط. يتم إدخال جهاز التزليج (Lubricator) يتم لولبته فى الفتحة الكاملة لمحبس السكينة لقضيب الإمساك. يترك المحبس مفتوحاً بينما عينى الاختبار فى مكانها وتجهيزات جهاز التزليج تمسك كل ضغط الخط (حتى 300 رطل / البوصة المربعة). للسحب، يتم دفع العينه خلال المحبس إلى غلاف جهاز التزليج، يقفل المحبس وكل تجهيز جهاز التزليج مع العينة داخله يتم حل لولبتها (Unscrewed) للإزالة. قضيب الإمساك يكون مصنع من الصلب المقاوم أو من معدن المونيل، وتكون العينة معزولة كهربياً عنه بقطعة من البلاستك لمنع التآكل الجلفنى للعينة عند الاستخدام. عينات الاختبار يتم تنظيفها ووزنها قبل وبعد التعرض الحقلى. فى بعض الحالات المتوسط الحقيقى وأقصى عمق للثقب يتم قياسه، ولكن عادة يتم تحويل الفقد فى الوزن إلى معدل اختراق (تآكل) مثل الميكرومتر فى العام. حسابات مختلف معدل التآكل من عينات الصلب موضحة فى الجدول التالى .

تقديرات معدل التآكل :

الاختراق / العام Mils = mpy

$$= \frac{2831 \cdot W}{T \cdot A} \text{ (للصلب)}$$

حيث : W = وزن الفقد فى العينة بالجرام

A = مساحة العينة بالبوصة المربعة

T = زمن التعرض بالأيام

Mils = 0.001 بوصة

Mdd = ملجرام/الديسيمتر المربع/ اليوم

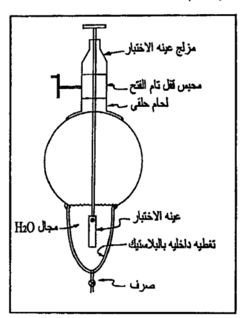
MPY = 5.47 (للصلب)

الديسيمتر = 0.1 متر = 3.937 بوصة

الديسيمتر المربع = 100سم^2 = 15.5 بوصة مربعة

mm/yr = مليمتر/ العام = mpy/40

Mm/y = ميكروميتر / العام = 25.4 × mpy



شكل (1/39) عينة اختبار مستوية مثبتة فى مصيدة الماء ملحومة فى قاع خط المواسير

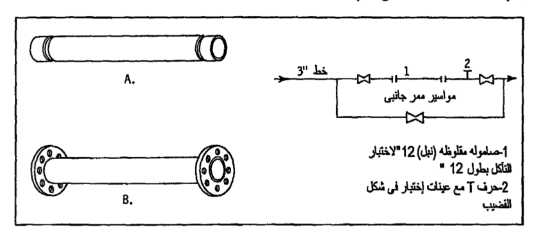
قطع الاختبار المقلوظة (Test Nipples)

البيانات الموثوقة التى تظهر التآكل الحقيقى للنظام يمكن تحقيقها باستخدام صواميل الاختبار النبل (المقلوظة من الجانبين) التى تستخدم كجزء من خط التدفق. يوجد نوعين فى شكل (1/40). هذه يتم تعرضها لمدة ثلاث أشهر إلى تسعة أشهر أو أطول. بعد طول زمن التعرض لحالات التدفق الكلى، يتم فك الوصلة المقلوظة واختبارها بالنسبة للتآكل الثقبى وتراكم الترسيبات. فى حالة الإعداد الجيد للوصلة

المقلوظة ووزنها الأولى، فإن الفقد فى الوزن بعد الفترة الزمنية يوفر أفضل قياس متاح لمعدل التآكل فى المواسير أو خطوط التدفق.

3- مقاييس التآكل (Corrosion Meters)

يستخدم نوعين من مقاييس التآكل للقراءة المباشرة الإليكترونية لمعدل التآكل. كل نوع يستخدم قضيب إحساس ممتد خلال وصلة (T) أو وصلة نبل المقلوظة من الجانبين إلى خط التدفق، خط المواسير أو جدار الخزان. ووصلات كهربية بين القضيب والقياس، التى يمكن أن تكون محمولة أو ثابتة للقراءة المركزية. بعض المنشآت المركزية فى المحطات أو الأرصفة البحرية تستخدم عديد من القضبان المحملة (Probes) فى أماكن مختلفة. تؤخذ القراءات من آن إلى آخر ويتم طبعها آلياً. الشكل (1/41) يوضح ظواهر القضيب المستخدم مع مقياس التآكل بالمقاومة الكهربية مثل (Magna corrosometer).

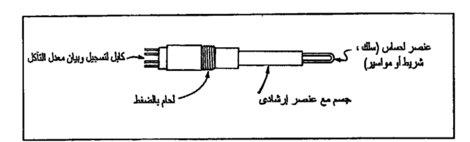


شكل (1/40) عينات اختبار التآكل A نبل له لولبه للتثبيت، B مكعب بالفلنجات C مواسير المرور الجانبى مزودة بالنبل وعينات الاختبار

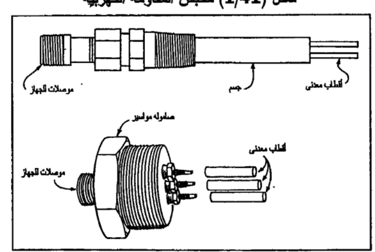
عنصر الإحساس المعرضة للسوائل العدوانية عبارة عن سمك صغير القطر، أنبوبة، أو شريحة معدنية رقيقة. نظراً لصغر كمية المعدن المفقود من عنصر الإحساس بالتآكل، فإن مقاومتها لتدفق التيار الكهربى تزداد، وهذا التغير يترجم إلى معدل التآكل (mpy) بواسطة العداد الإليكترونى. نظراً لأن التجهيزه تقيس التآكل الحقيقى أو فقد المعدن على عنصر الإحساس (Sensor)، فإنه ليس ضرورى للقضيب (Prbobe) ليكون مغموراً فى مجال مائى له قدرة توصيل كهربى باستمرار. القراءات يمكن أن تتم فى خطوط البترول أو الغاز فمثلاً، طالما أن هناك ماء كافى موجود

لحدوث تآكل عنصر الإحساس. يمكن عادة الحصول على قراءات ثابتة خلال ساعات قليلة بعد تركيب القضيب والتغيرات فى معدلات التآكل يمكن إحساسها سريعا حتى لعدة أشهر حتى تآكل عنصر الإحساس.

أساسا القراءات الفورية لمعدل التآكل يمكن الحصول عليها بأجهزة (Petrolite) لقياس التآكل. وهذه لا تقيس تآكل المعدن مباشرة كما فى حالة عينة الاختبار أو محبس المقاومة. وبدلاً من ذلك، تستخدم تقنية كيميائية كهربية تسمى مقاومة لاستقطاب أو الاستقطاب الطولى (Linear polarization or polarization resistance). تقنية الاختبار الشكل (1/42) يستخدم اثنين أو ثلاث من أقطاب المعدن التى تغمر فى البكتروليت مستمر (ماء مالح). أجهزة (Petrolite) توفر محبس الدفق المحمول (Flush Mounted probe). الأقطاب لهذا المحبس المحول تكون فى شكل حلقات مشتركة المركز مع البلاستك للعزل يحيط بالاثنين الداخليين. المحبس يركب خلال الجدار على جانب القاع لخط تدفق الزيت أو الغاز أو خطوط المواسير بحيث يكون الوجه المستوى للمحبس يتم دفقه بالسطح الداخلى للماسورة.



شكل (1/41) محبس المقاومة الكهربية



شكل (1/42) توضيح لمجسات مقاومة الاستقطاب من عنصرين أو ثلاثة

فى هذا الوضع المحبس المحول يستشعر حتى الطبقات الصغيرة من الماء التى تتحرك على طول قاع الماسورة وتغنى عن الحاجة إلى مصايد المياه (Water traps). التنظيف بالمواد الصلبة فى التدفقات عالية السرعة تساعد فى عدم حدوث التراكمات العضوية على الأقطاب وتحسن من الإحساس لأجهزة إحساس معدل التآكل المركبة على الدفق. فى كلا من المجسات ذات مقاومة الاستقطاب بعنصرين أوثلاثة، الجهد الكهربى لأحد الأقطاب يتم رصده بالنسبة لواحد من الأقطاب الأخرى مع استخدام تيار كهربى صغير. قيمة التيار المطلوبة لتحريك جهد القطب العامل بكمية ثابتة (عادة 10 إلى 20 مليفولتات) يتناسب مع كثافة التآكل. المقياس الإليكترونى يترجم كمية التيار المستخدمة إلى عدد مقروء يبين معدل التآكل بقيمة (mpy). قراءة معدل التآكل دقيقة للتآكل الذى يحدث على عنصر المحبس عند لحظة أخذ القراءة. ولكن تراكم نواتج التآكل والترسيبات من الأملاح المعدنية أو الهيدروكربونات الثقيلة تقلل من الحساسية والمجسات (Probes) المتروكة فى النظام لفترة زمنية طويلة قد تفشل نتيجة لتغير حالات النظام الجارى رصدة.

كثيراً من المستخدمين يعتقد أن المجسات من نوع المقاومة الكهربية أقل تأثيراً بالترسيبات العضوية مقارنة بنوع مقاومة الاستقطاب وكذلك يعتبر الأول هو المفضل. يجب ملاحظة أن كلا النوعين معرض لنفس الحدود الأساسية كما فى حالة اختبار عينات التآكل. يمكنهم فقط قراءة معدل التآكل على حساس المجس وهذا المعدل هو فى أحسن الحالات كمؤشر لمتوسط التآكل الكلى فى النظام الجارى اختباره. عند ترك أى نوع لمجسات قياس التآكل مركباً لفترة زمنية طويلة، فإنه يجب نظافتهم والتفتيش عليهم على أساس منتظم وكذلك تعرض عينات اختبار لفقد الوزن فى نفس الوقت فى ما لا يقل عن مكان واحد فى النظام.

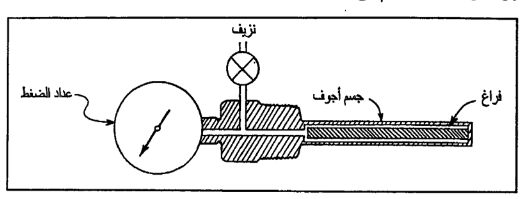
4- **مجسات الهيدروجين** (Hydrogen probes and patches)

محبس الهيدروجين أو اللصقه الصغيرة تصمم لقياس التآكل بإحساس كمية الهيدروجين التى تتحرك خلال جدار الماسورة أو الخزان. بعض من الهيدروجين الذرى (H^o) الذى يتولد عند جانب الكاثود على المعدن المتآكل بفعل الماء الخالى من الأكسجين المحتوى على (H_2S) الذى يخترق الصلب منخفض الصلابة.

الهيدروجين الذرى (H^o) الذى يمر تماماً خلال جدار الصلب يتحول إلى الهيدروجين الغازى الجزيئى (H_2) وينتشر فى الهواء. نظرياً كمية الهيدروجين التى تمر خلال الجدار تتناسب مع معدل التآكل.

شركة بتروليت (Petrolite) وفرت تجهيزه تسمى قطعة المجس للهيدروجين (Hydrogen patch probe). وهذا يتم تثبيته على الجدار الخارجي للوعاء أو للماسورة. الهيدروجين الذرى الذى يخترق الجدار يتم الكشف عنه بالاختزال الكهروكيميائى وجهاز القراءة الإليكترونى الذى يبين المعدل النسبى للتآكل. مجسات ضغط الهيدروجين موضحة فى الشكل (1/43) تعمل على نفس المبدأ الأساسى عدا أن ضغط الهيدروجين الجزيئى المحتجز يتم قياسه بمقياس (عداد). مجس الضغط يركب خلال حرف تى (T) أو وصلة مقلوظة من الجانبين (Nipple) فى الماسورة أو الخزان. مع تأكل الجدار الرقيق لجسم المجس فإن غاز الهيدروجين يحتجز فى الداخل مكوناً ضغط. معدل زيادة الضغط الأكثر من 1 رطل/البوصة المربعة (1psig) أو (7Kpa) فى اليوم يعتبر علامة لحدوث التآكل الشديد.

قطع أو مجسات الهيدروجين عادة لا يعتمد عليها فى التعيين الكمى لمعدل التآكل ولكن يمكن استخدامها للكشف عن التآكل السريع جداً فى النظم الحامضية الخالية من الهواء. وهذه لا تستخدم فى السوائل المهواه.



شكل (1/43) مجسات ضغط الهيدروجين

5- المجسات الجلفنية (Galvanic probes)

هى ببساطة قضيبين من معدنين مختلفين، عادة من الصلب والنحاس الأصفر (Brass)، مثبتين ومعزولين من خلال سدادة ماسورة ملولبة. عند غمر القضيبين فى مياه مالحة مهواة وتوصيلهم كهربياً بواسطة ملى أميتر، فإن زوج المعدنين المختلفين يولد تيار كهربى صغير الذى تتغير قوته مع كمية الأكسجين الموجود. نشاط خلية التآكل للمعادن الغير متماثلة وبالتالى كمية التيار الناتج تتحدد طبقاً لتركيز الأكسجين، الذى يزيل الاستقطاب (Depolarize) للكاثود من النحاس الأصفر بما يجعل الخلية

الجلفنية تستمر فى العمل. لذلك المجسات الجلفنية مع التسجيل الصغير للملى أمبير تفيد فى إعطاء إشارة عن وجود الأكسجين فى تدفقات الماء، وهى تستخدم فى هذا الغرض تحت التيار لأجهزة إزالة الهواء فى عمليات حقن الماء والحفر.

فى النظم الخالية من الهواء مثل طفلة الحفر التى تم إزالة الهواء منها، فإن خرج التيار لزوج المجس الجلفنى يمكن أن يندفع عند حدوث تلوث H_2S. ولكن، خرج التيار فى أى حالة حقلية لا يعتمد عليه كقياس لمعدل التآكل.

تحليل المحتوى من الحديد لمياه الإنتاج ومقارنة معدل التآكل مع معدل الإنتاج :

تعيين المحتوى من الحديد هى الطريقة المفيدة لرصد التآكل أسفل فتحة البئر وذلك فى آبار الزيت والغاز المنتجة قليل من H_2S أو غير منتجة له أى الإنتاج الحلو الخالى تقريباً من H_2S. ثانى أكسيد الكربون هو العامل الأول للتآكل. الأحماض العضوية تكون أحياناً موجودة وتعمل على استمرار الحديد فى المحلول لما لا يقل عن دقائق قليلة (قبل الأكسدة الهوائية) بعد أخذ العينة من رأس البئر أو من خط التدفق. تحليل المحتوى من الحديد المذاب يمكن عمله مباشرة على عينة طازجة وذلك باستخدام شنطة الاختبار بالأشعة الضوئية (Colorometric testkid). البديل هو أن كل عينة بيان يتم تحميضها بعدة نقاط من حامض الهيدروكلوريك المركز حتى رقم هيدروجينى 1-2 وذلك لاستمرار الحديد فى المحلول وإرسال مجموعات من العينات إلى المعمل لتعيين الحديد.

تركيز الحديد المذاب يميل إلى الزيادة مع زيادة معدل التآكل ولكن قيم محتوى الحديد لا يعتمد عليها كمؤشر لشدة التآكل وخاصة بالنسبة للتآكل الثقبى (Pits). للتعويض عن التغيرات فى إنتاج المياه بين الآبار، يتم تعيين متوسط تركيز الحديد (ملجرام/لتر) وحساب إجمالى معدل الفقد فى الحديد للبئر بالكيلو جرام فى اليوم. هذه الطريقة لها قيمة كبيرة لتوضيح التغيرات فى معدل فقد الحديد مع الوقت أو قبل وبعد المعالجة باستخدام المثبط.

بعض التربة الرملية تحتوى الطفلة، فى شكل (Chlorites)، منتجة ماء بمحتوى طبيعى من الحديد والذى يجب حسابه فى دراسات التآكل. خلفية تركيز الحديد عادة تكون ثابتة بالنسبة لحجم مياه تكوينات التربة فى كل المياه المنتجة عند رأس البئر (التكوينات زائد تكثيف الماء).

المياه التى تنتج مياه تكوينات التربة يمكن افتراض أن لها فقد فى الحديد بالتآكل خلال كل طول عامود المواسير وبيانات عد الحديد يمكن استخدامها لحساب المعدل الكلى للتآكل كالآتى :

$$C.\,R. = \frac{C_{Fe} \cdot Q_{H_2O}}{0.082\,LD}$$

حيث : C.R. = المعدل المنتظم للتآكل (mpy)

C_{Fe} = عد الحديد فى مياه الإنتاج (ملجرام/لتر)

QH_2O = إجمالى إنتاج المياه (bbI/day)

L = طول المواسير (القدم)

d = القطر الداخلى للمواسير (بالبوصة).

عندما تظهر قياسات السمك أو التفتيش على المواسير أن تآكل المواسير مركز أساسا بين أعماق معينة فى البئر، فإن طول المساحات التى تأثرت يمكن استبداله بالنسبة للطول الكلى (L) فى المعادلة. التآكل المحلى فى الجزء العلوى لعامود المواسير يمكن أن يكون بسبب تكثف المياه بسبب التبريد. إذا أمكن تعيين هذه المنقطة أو حسابها، فإن طولها يمكن استخدامه لـ (L). لقد ثبت أن معدلات التآكل فى تدفقات آبار الغاز هى دلالة لمعدلات إنتاج الغاز والماء وتأثر بشدة بمكونات الماء. للحساب لكل من الغاز والماء، تم تطوير علاقة (Copra correlation – corrosion (COPR) rate production rate) ما بين معدل الإنتاج ومعدل التآكل لاستنتاج عدوانية سائل البئر الحقيقية قبل تلف المعدة ولتقييم معالجة المثبط.

بالنسبة لعلامة (COPRA) يتم حساب متوسط معدل التآكل المنتظم المحسوب من عد الحديد بالنسبة لمياه الإنتاج كالآتى :

$$KG = \frac{C.R}{Q^{I}H_2O}$$

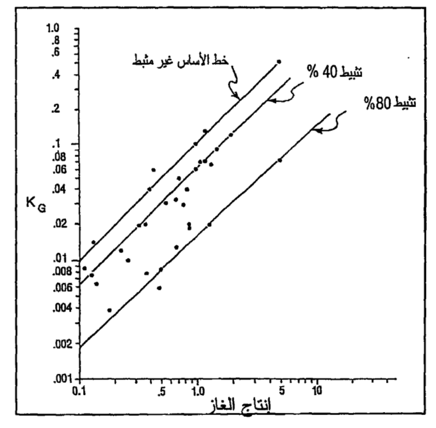
حيث : KG = المعدل النسبى المتوسط للتآكل.

$QH_2O = bbIH_2O \,/\, MMCf$

حيث (MMCF) هى مليون قدم مكعب من الغاز. معامل KG المحسوب يتم عندئذ توقيعة كدلالة لمعدل إنتاج الغاز كما هو موضح فى الشكل (1/44). نقط البيانات

تمثل KG كمعدلات محددة لمعدل الغاز وسلسلة النقطة المتصلة تنتج منحنى خط الـــذى ميله يبين العدوانية لمجموعة آبار بصرف النظر عن الفروق فى معدلات إنتاج المـــاء والغاز. الشكل (1/44) يوضح الخفض فى KG لكل مليون قدم مكعب من الغاز فـــى اليوم لمجال معدل إنتاج الغاز نتيجة معالجة الآبار بمثبطات التآكل.

مخطط COPRA يمكن عمله باستخدام معدل تآكل عينات الاختبار بالنسبة لبيان عد الحديد عندما يكون هناك سبب فى اعتقاد أن البيانات ممثلة للواقع.



شكل (1/44) مخطط كوبر المجموعة آبار الغاز قبل وبعد استخدام المثبط

بعد حقيقة كشف التآكل :

الفقد فى المعدن الذى حدث فى المعدة يمكن قياسه بعدة وسائل.

ثلاث أنواع من أدوات الكشف فى المكان هى :

1. أسفل مواسير فتحة البئر أو مقاييس القطر الداخلى للقيسون (Casing caliber).

أ- المستشعرات الميكانيكية (تقيس القطر الداخلى وعمق الثقب)

ب- نوع الحث الكهرومغناطيسى (يقيس الخفض الكلى فى سمك الجدار).

جـ - أدوات الجمع بين (أ) ، (ب).

2. أجهزة اختبار السمك بالموجات فوق الصوتية.

3. الإشعاعات.

أ - أشعة إكس .

ب- أشعة جاما.

التفتيش أسفل فتحة البئر أنواع مختلفة من مقاييس القطر الداخلى تعتبر مكلفة ولكنها مبررة عند المقارنة بالتكاليف العالية بما يحدث من تلف لعامود المواسير والقيسون.

1. الكشف على عامود المواسير :

الأعمال المساحية لقياس القطر الداخلى لعامود المواسير تتم عادة فى آبار تكثيف الغاز وآبار الزيت حيث العد للحديد أو بيانات اختيار عينات رأس البئر تبين إحتمال حدوث تآكل أسفل فتحة البئر بمعدل خطير. مستشعرات الالتصاق (Contact feelers) عادة تبين مكان المناطق حيث التآكل حاد ولكنها يمكن أن تفتقد الثقوب بالنسبة لثقب واحد صغير حتى قطر 3 مليمتر، احتمال اكتشافه باستخدام مقياس القطر الداخلى مرة واحدة أعلا خط المواسير هى حوالى 15%. يزداد الاحتمال إلى 80% فى حالة عمل المساحة الحقلية عشرة مرات فى نفس خط المواسير. تكرار العمل المساحى يتم عادة من القاع إلى أعلا بينما تكون الأداة فى الفتحة.

أقصى اختراق للثقب يمكن أن يكون مغموراً بالرواسب ولكن احتمال أقصى أعماق للثقوب أو الاختراق الكلى للجدار أمكن حسابه باستخدام القيم الإحصائية.

2. اجهزة قياس القطر الداخلى للقيسون (Casing calipers)

كما تم مناقشته فى الفصل الثامن، يوجد العديد من أدوات التفتيش على القيسون أسفل الفتحة المتطورة. تقنيات الاستشعار المستخدمة عادة هى من نوع استشعار القطر الداخلى (يماثل أقطار المواسير الداخلية) وعملية الحث المغناطيسى لقياس سمك جدار القيسون. مع الأخير، أجزاء من جدار القيسون يتم تشبعها قليلاً بمجال مغناطيسى بقوة

معلومة. عناصر الإحساس داخل الجهاز عندئذ تقيس خواص المجال المغناطيسى المتبقى (الكثافة والمجال) عودة من جدار القيسون الذى يبين بدقة سمك الجدار المتبقى. تقنية الحث المغناطيسى فقط لا يمكنها التفرقة بين الفقد فى المعدن الداخلى من الخارجى. ولذلك، فإنه تستخدم أدوات أكثر تطوراً وهى المقياس الداخلى للقطر وطرق الحث المغناطيسى معاً بهذا يتوفر قياس لكل من الاختراق الداخلى والخفض فى سمك الجدار من السمك الأصلى. الفرق يرجع إلى الفقد فى المعدن بالتآكل الخارجى. فائدة تقنية قياس رقة الجدار بالحث المغناطيسى هو أنها لا تتأثر بالسوائل فى القيسونات أو بوجود رواسب سطحية.

الكشف البصرى لحالة السطح الداخلى للقيسون يمكن عمله باستخدام كاميرا الفيديو ومصدر للضوء معلق فى الفتحة فى سائل رائق. هذه الطريقة ليست مستخدمة كثيراً.

3. اجهزة قياس السمك بالموجات فوق الصوتية للكشف السطحى :

Ultrasonic thickness gauges for surface testing

يوصى باستخدام الموجات فوق الصوتية من آن إلى آخر لقياس سمك الجدار، عند نقط اختيار مختارة، وذلك خاصة للخزانات وخطوط المواسير السطحية حيث التلف لا يمكن تحمله. على منشأ الأرصفة البحرية يتم وكذلك انحناءات المواسير والأماكن المشابهة يتم مراجعتها حيث البرى يفعل المواد الصلبة يكون محتملاً ويتم مراجعته سنوياً على الأقل.

يتم تعيين سمك جدار الماسورة أو الخزان بجهاز الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) وذلك بقياس الوقت اللازم لموجه صوتية عالية التردد للمرور خلال المعدن. الموجة الصوتية يتم إنتاجها باستخدام (Piezoelectric transeducer) بمحول طاقة الضغط الكهربى الذى يتم ضغطه على سطح المعدن. محول الطاقة اليدوية (وحدة البحث) تستقبل نبضات كهربية عالية التردد من مصدر طاقة فى الجهاز الرئيسى ومحول الطاقة الكهربية إلى ذبذبات صوتية. ذبذبة الصوت أو الموجة تمر عند قوة متجانسة معلومة خلال المعدن ويتم اكتشافها بمحول الطاقة المستقبل الذى يحول الصوت إلى نبضة كهربية. حيث أن سرعة رحلة الموجة الصوتية ثابتة للمعدن الجارى اختباره، فإن الفترة الزمنية بين الدخول واستقبال النبضات الكهربية تكون دلالة لسمك المعدن. بعد القياس الأولى لسمك الجدار عند نقطة معينة على جدار

الماسورة أو الخزان، فإن تكرار الاختبارات بعد عدة أشهر عند نفس النقطـة سـوف يبين كمية الفقد فى المعدن أو الرقة (Thining) الذى حدث عند تلك الأماكن.

الموجات الصوتية التى يتم إنتاجها بواسطة محول الطاقة لا تنتشر بكفاءة خـلال الهواء ووجه محول الطاقة حيث يجب أن يعمل التصاق صلب مع المعـدن الجـارى اختياره. محولات الطاقة ذات الوجه المـستوى تـستخدم علـى جـدران الخزانـات والمواسـير ذات القطـر الكبيـر. وحـدات محـولات الطاقـة البحثيـة (Search transducer) ذات الوجه المنحنى متاحـة للاسـتخدام للأحجـام المختلفـة للماسورة الصغيرة.

الطريقة العملية لاختبارات السمك الخارجي هى باختبار نقطة على سطح المعدن، ثم تنعيم هذه المساحة بصنفرة يدوية أو حجر جلخ ثم تغطية المساحة التى تم تنعيمهـا بسائل رابط مثل الزيت أو الجلسرين. السائل الرابط يساعد فى نقل صوت الموجـات فوق الصوتية بين وحدة البحث والمعدن. يتم تكرار الاختبار للكـشف عـن تغيـرات السمك دائماً عند نفس النقطة لزيادة الدقة.

توجد ثلاث طرق أساسية مستخدمة لاختبار الفتـرة الزمنيـة للموجـات فـوق الصوتية. تقنية النبضة (Pulse echo) تستخدم محول طاقة وحيد لبعث شـعاع نـبض لصوت الموجات فوق الصوتية خلال السائل الرابط إلى السطح الخارجى للمعدن. عند الجانب المقابل (الداخلى) لجدار المعدن، العلامة الصوتية تنعكس أو يحدث لها صدى عكسى إلى محول الطاقة المستشعر. الفترة الزمنية بين بداية النبضة وعودة الـصدى تقاس بجهاز اختبار معاير لتعيين السمك. بعض الأجهزة القديمة لها شعاع أنبوبة شعاع كاثود (CRT) التى تعرض مسمار ضخم لإشارة الـدخول والعـودة، والمـسافة بـين الذروات (Peaks) يتم قياسها يدوياً بتدريج شفاف الذى يقرأ وحدات الـسمك. أجهـزة أكثر حداثة تقيس الفترة الزمنية إليكترونيا وتبين قراءة رقمية للسمك. توجـد النمـاذج المدمجة بكل المحتويات فى حقيقة واحدة. نوع آخر من وحدة البحـث يعمـل بمبـدأ مشابه، ولكن وحدة الرأس تحتوى على محولين للطاقة موضوعين بزاوية كل بالنـسبة للآخر. أحدهما يرسل والآخر يستقبل.

4- التصوير بالأشعة : Radiography

التصوير بالأشعة يتم بتمرير أشعة إكس أو أشعة جاما خلال أجـسام المحـبس، الكيعان أو أجزاء أخرى. يتم تسجيل التصوير بالأشعة على فيلم وكشف العيوب مثـل

الثقوب داخل السطح والشقوق أو تطابقات جسم جدار المعدن. التصوير بالأشعة يمكن أن يوفر وضوح بصرى إيجابى للعيوب والتلف بفعل التآكل.

الملاحظة البصرية والتحليل :

لا يوجد اختبار أو جهاز كشف تم تطويره يمكن أن يفيد فى برنامج الحد من التآكل مثل التفتيش المتقن فى الموقع بواسطة أشخاص مهتمين. التفتيش المباشر وقليل من الاختبارات البسيطة على المعدة سوف تكشف السبب الأساسى للمشكلة.

الخط الإرشادى العملى للمباحث الحقلية للتلف موضحة فى الجدول الآتى الخطوات المذكورة يمكن استخدامها فى تحضير البيانات.

جدول الفحص الحقلى لتلف المعدة :

1- سجل مظاهر التلف ومكان الاستخدام.

2- وصف طبيعة التلف أى طولى، عرضى، ثقوب، رقه الجدار من الداخل أو من الخارج – الثقوب الداخلية والخارجية.

3- فحص الترسيبات الكلية والموضعية (اللون ، المظهر، السمك، التوزيع).

4- اختبر إذابة وتفاعل الرواسب فى حامض مخفف.

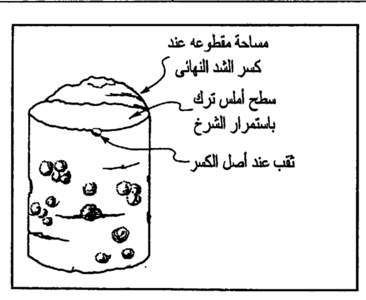
5- نظف عدد من المساحات الموضعية بفرشة سلك. ثم الفحص المباشر لتوزيع الشقوق والثقوب والجدار الرقيق.

6- يتم تصوير التلف الكلى.

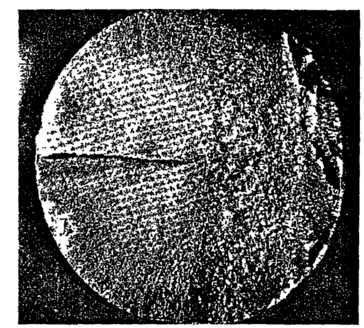
فى الجدول الآتى بيان لموجز الملاحظات التى يمكن عملها للمساعدة فى معرفة الأسباب الأكثر احتمالاً لتلف المعدة. فمثلاً، مظهر نوع عادى من تلف عامود السحب (Sucker Rod) الذى تلف كما هو موضح فى الشكل (1/45) الشكل (1/46) عبارة عن صورة فوتوغرافية لنهاية مكسورة لعامود السحب الذى تلف بسبب كلال التآكل (Corrosion fatigue) بعد ستة أشهر من الاستخدام فى بئر منتج حامضى (Sour). لاحظ التآكل الثقبى على طول الطرف الأيسر، سطح المعدن الناعم حيث يحدث التشقق بالقصافة والفصل النهائى (غير قصف) على الجانب الأيسر. إجهاد الشد للكسر النهائى الغير قصف (Non brittle) يحتمل حدوثه بسرعة بعد خفض القطر المؤثر (بالتشقق الأولى البطئ) إلى النقطة حيث لا تطيق تحمل حمل الشد.

جدول خواص ظواهر بعد التلفيات المتعلقة بالتآكل

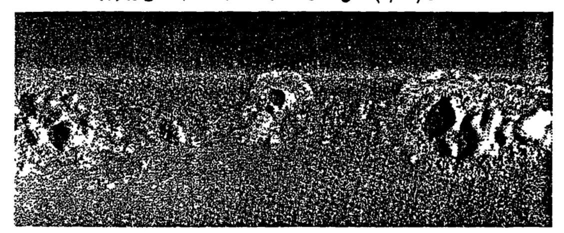
المظهر	السبب المحتمل
ثقوب قمعية صغيرة ذات أجناب حادة الميل وأطراف ناعمة. والثقوب مملوءة براسب أسود.	عدوانية (H2S) يمكن أن يكون طبيعياً أو منتجاً بفعل البكتريا شكل (1/47)
مثل ما سبق زائد شقوق مستعرضة	عدوانية H_2S مع إجهاد الشد (الإجهاد بالتآكل والشد)
تلف مستعرض مع قليل أو بدون ثقوب ولكن مع راسب أسود	التشقق الكبريتى بالإجهاد، زيادة صلابة المعدن.
ثقوب متصلة ذات قاع مستدير وذات أجناب حادة. راسب رمادى ولكن قيعان الثقوب لامعة.	عدوانية ثانى أكسيد الكربون.
ترقيق عام للمعدن (Thinning) مع معدن متبقى فى شكل ريش حادة، قليل من الترسيبات أو بدون ترسيبات.	تآكل حامضى معدنى.
ترسيبات صدأ. انتشار الثقوب الضحلة أو الثقوب العميقة أسفل الصدأ الإبرى.	تآكل أكسجين.
ثقوب منفردة، معزولة فى صف على جانب واحد.	تآكل إليكتروليتى بسبب صرف التيار.
مناطق دورية مع عديد من الثقوب الصغيرة.	البرى بفعل المواد الصلبة أو حك المعدن فى وجود H_2S , CO_2 أو O_2.



شكل (1/45) تشريح لعامود السحب حيث الكسر يرجع إلى التآكل بالإجهاد والكلال



شكل (1/46) مقطع لعامود سحب حدث به تلف بالتشقق وبالإجهاد



شكل (1/47) الثقوب بفعل الكبريتيد فى خط تدفق حقن المياه، H_2S ينتج بفعل البكتيريا المختزلة للكبريتات

الاختبارات للتعرف على نواتج التآكل :

بيانات لاختبار الأحماض موضحة فى الجدول الآتى.

محلول الحامض رقم (1) يمكن استخدامه لاختبار الطبيعة العامة للرواسب الثقيلة التى تم كشطها من أسطح المعدن المتآكل. ضع حوالى 1سم^3 من الراسب فى حوالى 25سم^3 من المحلول (1) موضوعاً فى وعاء زجاجى صغير أو فى أنبوبة اختبار.

لاحظ معدل الإذابة وتصاعد الغاز. فى حالة التكون البطئ للغاز الواضح، يـتم شـم الأبخرة بحذر بالنسبة لرائحة البيض الفاسد لغاز H_2S. كما توجد شنط اختبـار لغـاز H_2S.

وجود كلاً من H_2S واللون الأسود للعينة الأصلية يبين أن الراسب يحتوى علـى نواتج تآكل (Fes) مفيدة خاصة فى معدة البئر وفى نظم حقن الماء حيـث يمكـن أن تنشط البكتريا. عندما تفور الترسيبات وتنتج غاز سريعاً، فيحتمل أن تحتـوى علـى ترسيبات من $CaCO_3$. الجمع بين FeS ، $CaCO_3$ يحدث أحيانـاً. كربونـات الحديـد (Fe_2CO_3) التى تسمى كذلك سيديريت (Siderite) لها مظهر رمادى وتنـتج CO_2 غـاز عند الإذابة فى حامض. تصاعد CO_2 يمكن ملاحظته أحيانا بمجرد وضع نقاط قليلـة من المحلول (1) مباشرة على الراسب.

الصدأ أو أكسيد الحديد عادة لونه أحمر بنى ويذوب ببطئ فى الحـامض بـدون تصاعد غازات. رواسب التصنيع (Fe_3O_4) تذوب ببطئ فى الحامض أولا تذوب مطلقا عند الجفاف هذه القشور يمكن جذبها بالمغناطيس. محلول الحامض (2) يتم تحـضيره خاصة للكشف عن كبريتيد الحديد (FeS) مباشرة على أسطح المعدن. هـذا الاختبـار يقترح عند الكشف عن المعدة التى تلفت بفعل القصافة والكـسر (Brittle fracturing). والتلف بالكسر يمكن أن ينتج من أسباب عديدة ولكن الأكثر شيوعاً فى عمليات إنتـاج البترول هو التشقق الكبريتى بالإجهاد (SSC). فى هذه الحالة، عادة يوجد راسب رقيق أسود ولكن الثقوب أو علامات التآكل الأخرى يمكن أن تكون غير ظاهرة. الاختبـار بالنسبة لكبريتيد الهيدروجين يتكون من وضع نقاط قليلة ببساطة من المحلول رقم (C) مباشرة على المعدن قريباً من الكسر – ظهور راسب أصفر (عالق) فى الحامض يبين وجود أن نواتج التآكل من كبرتيد الحديد موجودة (بصرف النظر عن اللون الأصـفر الرائق بدون راسب).

جدول محاليل الحامض لاختبار الراسب :

المحلول رقم (1)	
ماء صنبور	400سم
أيزوبروبيل الكحول (Isopropyl alcohol)	150 سم^3
حامض هيدروكلوريك مركز (رائق نقى)	450سم^3
يضاف حامض الاختبار ببطئ مع التقليب يمكن إضافة 5 – 10 سم^3 من سائل منظف صناعى أو من عامل البلل السطحى إلى المحلول النهائى.	
المحلول رقم (2)	
إلى 100سم^3 من المحلول رقم (1)، أضف حوالى 5 جرام (مستوى حوالى ملعقة شاى) من أرزينيت الصوديوم (Sodium arserite (Na$_2$HASO$_3$). اغسل الجلد جيداً بالصابون والماء فى حالة التصاق بارزينيت الصوديوم	

ملحق (أ)

موجز مبسط لنظرية التآكل

1ـ مقدمة :

هذا الموجز المبسط يفيد الأشخاص الراغبين فى معرفة نظرية عن عمليات التآكل أكثر من تلك الموجودة فى هذا الكتاب.

أ- التعاريف الأساسية :

الجدول (أ/1) يعرف العديد من الكميات الكهربية، الطبيعية، والكيماوية التى سيتم تناولها. هذا التعاريف هى أساس المراجعة.

جدول (1/أ) التعاريف

الكمية	الوحدة	الرمز	الوصف
القوة الدافعة أو الجهد	الفولت	E	القوة أو الضغط الذى يدفع التيار الكهربى خلال دائرة مقفلة $E = IR$
التيار	أمبير	I	كمية التيار المرسلة بفولت واحد خلال مقاومة واحدة أو (قانون أوم) $I = E/R$
المقاومة	أوم	R	خاصية الدائرة التى تعيق أو تقلل تدفق التيار $R = E/I$
الكمية الكهربية	كولومب فارادى	C أو Q F	أمبيرات × الوقت (بالثوان) 96.500 كولومب. كمية الكهرباء التى سوف ترسب أو تذيب الوزن المكافئ الواحدة لأى مادة مثل المعدن.
الوزن المافئ	نسبة	E	الوزن الذرى أو الجزيئى مقسوماً على التكافؤ
المكافى الكهروكيميائى	نسبة	K	الجرامات لكل كولومب التى تتأكسد كهروكيميائياً أو تختزل عند 100% كفاءة للمعادن $k = e/f$
جهد الأكسدة/الاختزال	فولت	E^o	نصف الخلية القياسى فى حالة أتزان (التيار صفر)
جهد التآكل	فولت	E_{corr}	جهد المعدن المتآكل مقابل جهد قطب قياسى.
تيار التآكل (بالنسبة لمعدل التآكل)	أمبير	I_{corr}	كمية التيار المتدفق = E_{corr} / R حيث R مجموع المقاومات فى الدائرة.
الطاقة أو الشغل	جول	J أو W	الفولت × الكولومب التغير فى الطاقة الحرة ΔG، هو مقياس للطاقة الكهربية المتاحة من النظام.
درجة الحرارة المطلقة	درجة	K	درجة حرارة مئوية + 273.16

. أساسيات الكهرباء والكيمياء الكهربية :

سريان التيار الكهربى هو من أشكال الطاقة التى يمكن تحويلها بسهولة إلى أشكال أخرى أكثر إفادة مثل الحرارة والحركة الميكانيكية. المبدأ الطبيعى المقبول عامة

للكهرباء هو الخاص بتحريك الإليكترونات فى اتجاه واحد من ذرة إلى أخرى خلال مادة موصلة. الموصل الكهربى هو المادة التى تتحرك خلالها الإليكترونات بسهولة نسبية. اتجاه حركة الإليكترونات (سريانها) يجب أن يكون دائماً من النقطة ذات الجهد المرتفع إلى النقطة ذات الجهد المنخفض، فرق الجهد ΔE بين النقطتين هو القوة الدافعة أو الفولت.

أى خاصية أو حالة تعترض أو تقلل سريان الإليكترون يمكن معاملتها رياضياً كمقاومة. المقاومة فى موصل يمكن أن تكون إما ذات طبيعة أومية (Ohmic)، حثية Inductive، أو متعلقة بالسعة (Capacitive) ولكن علاقات قانون أوم تنطبق مع التفسير المناسب. الشكل (1/أ) يوضح العلاقة بين I , E و R فى دائرة معدنية. لأى قيمة لـ E، فإنها تسرى كمية متغيرة من التيار I، طبقاً للميل m للخط المستقيم الذى يمثل R. التوصيل المعدنى لا يحدث تغير فى الخواص الكيماوية للموصل.

عندما يكون جزء من الخلية الكهربية إلكيتروليت (Electrolyte) مثل الماء المالح، فإن الطاقة الكهربية تتحرك خلال السائل بواسطة كلاً من الحاملين الموجب والسالب المعروفين بالأيونات (الذرات أو مجموعة الذرات ذات الشحنة الكهربية). تفاعلات إنتقال الإلكترون (الأكسدة/ الاختزال Redox) تحدث على أسطح السائل/ الصلب.

مجموع موصلين كهربيين (أقطاب) مغمورين فى إلكيتروليت يسمى خلية (فى حالة توصيل القطبين بسلك خارجى). إجمالى التيار الموجب والسالب (التيار من الحركة الموجبة + والسالبه −) فى الإليكتروليت للخلية يكون دائماً مكافئ لإجمالى التيار المحمول فى الموصل الكهربى بالإليكترونات فقط. مقارنة بالتوصيل المعدنى فإن التوصيل الإليكتروليني يتضمن تفاعلات كيماوية التى تحدث عند أسطح القطب وشكل تغير المادة. الكيمياء الكهربية هى العلم الذى يتعامل مع تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة كيميائية وبالعكس.

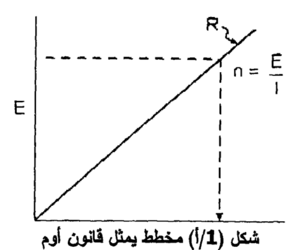
التفاعلات الكهروكيميائية تتكون من إثنين أو أكثر من تفاعلات جزئية بالأكسدة أو الاختزال (نصف الخلية). عدد الاليكترونات المنطلقة عند أحد الأقطاب يساوى العدد المستهلك عند القطب الآخر ويمكن ألا يكون هناك تراكم للشحنة الكهربية.

فى الخلية الكهروكيميائية مثل المعدن الذى يتآكل فى ماء البحر، الشغل الكيماوى الذى يتم عمله بواسطة النظام لكل جزئ من المعدن المستهلك هو (nFE)، حيث (n) هو تغير التكافؤ (Valence change)، (F) هى الفاراد، (E) هى جهد الخلية أو القوة

الدافعة (EmF). فى نفس الوقت، الطاقة الحرة للنظام تتحقق بنفس كمية G (الطاقة الحرة لجيبس) و

$$\Delta G = - nFE$$

تغير الطاقة الحرة يجب أن يكون سالباً (إجمالى فقد الطاقة) ليكون التفاعل لخطى. لذا، فإن تغير علاقة الطاقة الحرة يمكن أن يبين ما إذا كان تفاعل التآكل ممكناً. ولكن، مثل هذه الحسابات نادراً ما يتم عملها للدراسات العملية للتآكل ذلك لأن قيمة ΔG ليست مؤشراً لمعدل التآكل.



شكل (1/أ) مخطط يمثل قانون أوم

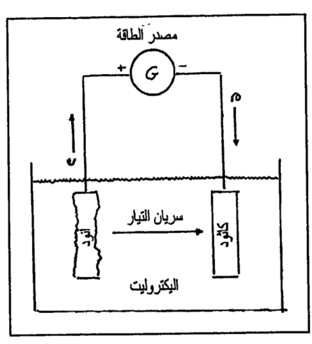
اعراف العلاقة للتفاعلات الكهروكيميائية :

تأسست أعراف اختيارية بالنسبة لتدفق التيار الموجب من القطب الموجب إلى القطب السالب، وذلك منذ عام 1791 عندما كان بناء المادة وطبيعة الكهرباء غير معروفة. تم تعريف الكاثود بأنه القطب الذى عنده يدخل التيار من الاليكتروليت أو من الأرض والآنود هو القطب الذى عنده التيار الموجب يترك ليعود إلى الاليكتروليت أو إلى الأرض. هذا الاتجاه لتدفق التيار مخالف للممر الحقيقى لحركة الإليكترونات، كما هو موضح فى الشكل (1/أ). طريقة تدفق التيار الموجب مازالت تستخدم فى هندسة التآكل وتطبق دائماً عندما لا تكون علامة حامل التيار غير موضحة ومعينة.

بسبب الارتباك الموجود بالنسبة لاتجاه تدفق التيار، فإن علماء التآكل وعلماء الكيمياء الكهربية يفضلوا حالياً تعليم آنود الخلية بأنه القطب الذى عنده يحدث تفاعل الأكسدة (الفقد فى الإليكترونات). الكاثود هو القطب الذى عنده اختزال أو استهلاك للإليكترونات. خلايا التآكل المحلية الفورية فى الخلايا الجلفنية (المعادن الغير متماثلة

فى الجهد)، يتم الإمداد بالطاقة الكهربية بتحرر الإلكترونات (أكسدة) لمعدن الآنود الذى يتآكل. كما هو موضح فى الشكل (1/3) الكاثود هو القطب الموجب ذلك لأن جهده أقل سلباً عن ذلك للآنود وذلك عن القياس باستخدام قطب قياس أو قطب ثالث. سريان الإليكترونات خلال الموصل المعدنى من الآنود إلى الكاثود لاستمرار تفاعلات الأكسدة (الآنود) الكهروكيميائية والاختزال (الكاثود).

فى الخلايا الاليكتروليتيه بالتغذيه بالتيار الخارجى (Impressed Current) يتم الامداد بالطاقة الكهربيه من مصدر خارجى مثل المولد الموضح فى الشكل (أ/2) .



شكل (أ/2) خلية التآكل الاليكتروليته أو بالتغذية بالتيار

فى هذه الحالة تحدث تفاعلات اختزال (استهلاك للإلكيترونات) عند القطب المتصل بسالب مصدر الطاقة (مصدر الإليكترونات) للمولد. لذلك فإن هذا القطب يسمى كاثود. يحدث التآكل (الأكسدة الكهروكيميائية) عند الآنود المتصل بالموجب للمولد. علامات + ، - لأطراف المولد الكهربى أو معدل التيار تستخدم كعلامات كهربية تقليدية. هذه العلامات (+ ، -) ليس لها معنى بالنسبة للتفاعلات الكهروكيميائية التى تحدث عند سطح القطب الملتصق بالإلكيتروليت.

الإلكترونات دائماً تسرى من الآنود خلال المولد إلى الكاثود (كما فى حالة الخلايا الطبيعية) وسريان التيار من الأنود خلال الإلكيترووليت الموصل أو التربة.

عندما يكون جهد خلية التغذية بالتيار عالياً بما فيه الكفاية، فإن الإليكترونات يمكن توفيرها بتفاعلات الأكسدة الآنودية. وليس تآكل معدن الآنود. المعادن الثمينة مثل البلاتين والمواد الغير معدنية الموصلة للكهرباء مثل الكربون يمكن أن تعمل كآنود بدون حدوث تآكل. فى الواقع، الحماية الكاثودية بالتغذية بالتيار المستمر الخارجى عادة تستخدم آنودات لا تتآكل مثل الجرافيت، البلاتين، التيتانيوم المغطى. الأكسجين الحر، غاز الكلور يتكون عند الآنود الخامل بسبب الأكسدة الكهروكيميائية للماء (H_2O) وأيونات الكلور (Cl^-).

قياس جهد الخلية :

تفاعلات الأكسدة – الاختزال فى خلية كهروكيميائية يتم التحكم فيها بالجهد الكهربى عند كل قطب وجهد الخلية كلها هو E_{Cell}

$$E_{Cell} = E_{Left} - E_{right}$$

حيث :

E_{left} = جهد نصف الخلية للقطب اليسار.

E_{right} = جهد نصف الخلية للقطب اليمين

القيمة الكلية لـ E_{Cell} يصعب تعيينها تجريبياً نظراً لأن القيمة تتغير مع سحب التيار من الخلية.

عملياً، يتم قياس جهد الخية باستخدام جهاز قياس الجهد بتيار صفر (Potentiometer) باستخدام خلية قياس ذات جهد معلوم. عند معرفة جهد كلية الخلية E_{Cell}، ومعرفة جهد أى من القطبين فإنه يمكن تعيين جهد القطب الآخر (نصف الخلية).

القطب القياسى المعملى العادى هو (نصف خلية معلومة الجهد) قطب الهيدروجين القياسى. يتكون من قطب بلاتين مغمور فى محلول آيونان الهيدروجين حيث نشاطه يساوى 1000 بينما فقاعات الغاز على القطب عند واحد ضغط جوى. جهد قطب الهيدروجين القياسى هو إختيارى وبقيمة صفر فولت، وكل الأقطاب القياسية الأخرى وأنصاف الخلايا تقارن به.

جهود نصف الخلية القياسى : Standard half cell potentials

جهود الأكسدة القياسية (Redox)، E_o مثل تلك الموضحة فى الفصل الأول تشير إلى جهد الخلايا حيث أنها أحد نصفى الخلية هو القطب القياسى للهيدروجين. عند إحاطة قطب المعدن بمحلول من نفس نوع أيوناته عند النشاط الموحد (unit activity)، وجد أنه القطب السالب لخلية جلفنية حيث فيها قطب الهيدروجين القياسى هو القطب الآخر. المعادن فوق الهيدروجين فى الجدول (1/1) سوف تتآكسد كهروكيميائيا (تفقد إلكيترونات) وتتجه نحو المحلول مستبدلة الهيدروجين. فمثلاً

(a) $Z_n^o + 2H^+ \text{-----}> Zn^{++} + H_2$

هذه المعادلة توضح الفرق فى تفاعلات نصفى الخلية الآتية

(b) $Z_n^o \text{----}> Zn^{++} + 2e$ (تفاعل أكسدة آنودى)

و (تفاعل أختزال الكاثودى) (c) $2H^+ + 2e \text{----}> H_2$

من الناحية التجريبية وجد أن جهد التفاعل القياسى (a) هو 0.763 فولت. الجهد المقاس يرمزل له كسالب (–) قطبيه.

المعادن أسفل الهيدروجين فى الجدول لا تقوى على استبدال الهيدروجين من المحلول بسهولة (المعادلة C) وجهودها القياسية للأكسدة يعطى لها العلامة الموجبة (+) لأغراض الاسترشاد.

الجهود الغير قياسية : Non standard potentials

جهد النظام حيث المواد التى تتفاعل (Reactants) ليست عند نشاط واحد، يمكن حسابه بمعادلة نيرنست (Nernst).

$$E = E_o + 2.3 \frac{RT}{nF} \text{Log} \frac{a\,(oxid)}{b\,(red)}$$

حيث : E = الجهد الحقيقى لنصف الخلية

E_o = جهد الأكسدة / الاختزال (Redox) القياسى.

R = ثابت الغاز Gas constant

T = درجة الحرارة المطلقة.

N = عدد الإليكترونات المنقولة.

F = ثابت فارادى.

(a) ، (b) هى نشاطات الأكسدة والاختزال لما يحدث له أكسدة أو اختزال. يمكن من المعادلة معرفة أن كمية المواد التىتأكسدت (oxid) a تزاداد، الآنود E يصبح أكثر موجباً أوأقل سلباً (لاحظ المناقشة التالية لتأثيرات الاستقطاب).

E_o للحديد عند 25°م عند وحدة تركيز (واحد جرام أيونى فى 1000 جرام من الماء) هو حوالى – 0.44 فولت مقابل قطب الهيدروجين القياسى (أنظر الجدول الفصل الأول). عندما يكون تركيز أيون Fe^{++} عند سطح الآنود مرتفعاً جداً، فإن E يمكن أن تصبح أكثر موجباً (More positive) وتنخفض – 0.2 فولت مقابل قطب الهيدروجين القياسى.

الاستقطاب : Polarization

يعرف استقطاب القطب بأنه الحيود من جهد الدائرة المفتوحة (صفر تيار) الذى يكون نتيجة مرور التيار. مرور التيار يغير التركيز المؤثر لكل من (Red) (b) , (a) (oxid) فى معادلة نيرنست. مع سريان التيار، فإن الجهود الآنودية والكاثودية يتم إزاحتها من قيم الاتزان أو الراحة ويقترب كل منهما للآخر.

1- الخطوة البطيئة فى مسار التفاعل – هذا يسمى تنشيط الاستقطاب (activation polarization).

2- الخفض فى توفر مواد التفاعل إلى الأقطاب نتيجة لبطئ التسرب.

هذا يسمى تركيز الاستقطاب (Concentration polariztion) ويؤثر أساساً فقط على تفاعلات الاختزال للكاثود.

المعادلة (C) تبين اختزال أيونات الهيدروجين إلى جزئيات الهيدروجين (H_2). التفاعل يحدث فى جزئين

(d) $2\,H^+ + 2e \longrightarrow 2H^o$

(e) $2H^o \longrightarrow H_2$ (خطوة بطيئة)

حيث أن الجزء (d) يحدث عند الكاثود، فإن cathode E تنخفض بسبب بطئ الجزء (e).

هذا هو مثال لنشاط الاستقطاب، ولكن في حالة حدوث عدم استقطاب للكاثود مثل وجود الأكسجين، فإن الجزء (e) لا يحدث وبدلاً منه .

(f) $2H^+ + ½ O_2 + 2e$ -------> H_2O

وهذا تفاعل سريع. لذلك، في وجود الأكسجين، يكون التآكل سـريعاً نظـراً لأن (E cathode) يظل قريباً من قيمة (E° Cathode) استقطاب الكاثود يكون صغيراً و ΔE للكاثود/ الآنود تظل كبيرة.

الوفرة المؤثرة أو معدل تسرب أيونات (H^+) إلى الكاثود (المعادلة d) هي كـذلك محددة (Limiting) وهذا هو مثال لتركيز الاستقطاب أحد الأسـباب لمـاذا المحاليـل الحامضية شديدة العدوانية على الحديد هو لأن تركيز الاستقطاب يكون عند أدناه عنـد الكاثود.

الموجز :

الاستقطاب هو عزل الكاثود بسبب وجود غلاله من غاز الهيدروجين على سطحه وفي وجود الأكسجين تزال هذه الطبقة ويحدث إزالة للاستقطاب وتستمر خلية التفاعل ويستمر التآكل.

ملحق (ب)

معلومات إضافية عن كيماويات مثبطات التآكل

1ـ مثبطات تآكل الأكسجين:

نظراً لأن تآكل الأكسجين أو الصدأ هو عادة واضح لكل شخص، فإنه من الطبيعى أن أول المواد التى استخدمت للحماية من التآكل كانت مواد مضافة لنظم الغلايات والتبريد المعرضة للهواء. منذ زمن بعيد قام عمال مولدات البخار والغلايات بمعالجة المياه بقطع من الأخشاب لخفض كلاً من التآكل والترسيبات (Scaling). حامض التنيك ومستخلصات الخشب الأخرى تمتص بعض من الأكسجين وتعمل كذلك كمثبطات للتآكل.

أخيراً، تم اكتشاف أن الأملاح المركبة مثل كرومات الصوديوم (Na_2CrO_4)، فوسفات الصوديوم (Na_3PO_4) و نيتريت الصوديوم ($NaNO_2$) تثبط تآكل الأكسجين أساساً عند زيادة القلوية بواسطة الصودا الكاوية (NaOH).

أملاح الفوسفات المعقدة مثل Sodium hexametaphosphate ($Na_6P_6O_{18}$) تم استحداثها منذ 50 عام تقريباً ومازالت تستخدم فى معالجة مياه التبريد ومياه الغلايات.

قريباً أملاح الزنك لأحماض الفوسفونيك العضوية (Organic phosphonic acids) استخدمت فى عالجة مياه التبريد المهواه لاستبدال الكرومات (Chromates). استخدامات الكرومات قل بسبب السمية والتلوث. كذلك استخدمت موليبدات الصوديوم Sodium molybdate (Na_2MoO_4) كبديل للكرومات. لآلية الصحيحة للمثبطات بهذه المواد غير مفهومة. الكرومات، النيتريت، الموليبدات يبدو أنها تعمل على تكوين طبقة من أكسيد الحديد على الصلب. هذه الطبقة ذات قدرة التوصيل الكهربى والذى يبين أنها لا يحدث لها تثبيط بزيادة المقاومة الكهربية. بالإضافة إلى أن طبقة الأكسيد هذه كاثودية بالنسبة لسطح الصلب أسفلها. فمثلاً، فى حالة تركيز مثبط الكرومات المنخفض جداً، فإن الطبقة المحتوية على الكرومات ستنشط التآكل فى المناطق (الآنودية) حيث يوجد تلف فى الطبقة. عندما يزداد تركيز الكرومات فإن كل السطح المعدنى المغطى يعمل ككاثود المعدن الثمين أى تحدث له مناعة (passivated).

المياه ذات العسر المنخفض المحتوية على بعض الحديد المذاب يمكن تثبيطها بأملاح السليكات لمنع تآكل الأكسجين. فى هذه الحالة، أملاح السليكات نفسها لا تكون طبقة أكسيد الحديد للحماية ولكنها تقويها.

مثال لأملاح الزنك الأحماض الفوسفونيك العضوية فى حالة حيث كلاً من الآن أيون (حامض الفوسفونيك) والكاتأيون (Zn^{++}) يساعدا فى تكوين طبقة مثبط للحماية. يستخدم الزنك كمثبط ساعد (Adjunctive) ليس فقط مع أحماض الفوسفونيك العضوية ولكى مع حامض الفوسفوريك الغير عضوى كذلك. المخلوط الثلاثى من أملاح الزنك، الفوسفات أو الفوسفونيت يكون مثبطاً عالية التأثير ضد تآكل الأكسجين فى تدوير مياه التبريد.

مثال للآن أيون العضوى (بالشحنة السالبة) من مثبطات تآكل الأكسجين، هو أملاح الأحماض العضوية. مثال، الأحماض العضوية التى فى بنائها الجزئى مجموعات حامض كالآتى :

R – COOH (كربوكسيليك)

أو (سلفونيك) $R\text{-}SO_3H$

R تمثل سلسلة أو حلقة الهيدروكاربون لمنع التآكل فى زيوت القطع (Cutting Oils) والمزلجات أثبتت أحماض السلفونيك (Sulphonic Acids) أنها من أفضل هذه المجموعات من الكيماويات. يمكن توضيح بناءها كالآتى :

```
              C
          /       \\
R  —  C         C  —  SO´   H+
        ||          |
R  —  C         CH
          \       //
              C
```

R عبارة عن سلسلة دهنية أو الكيل (Fatty or alkyl chain) مرتبطة بالحلقة بدون مجموعة $-SO`_3$ فإن مركب الألكيل المستبدل للحلقة هو ببساطة زيت أو هيدروكاربون ثقيل. عند معالجة الزيت الخام بحامض الكبريتيك قوى (H_2SO_4)، فإنه يتكون بعضاً من حامض السلفونيك الذى يمكن فصله.

أملاحها هى السلفونات البترولية. مجموعة SO_3Na – المتكونة بتعادل حامض السلفونيك بالصودا الكاوية، تجعل الجزئ الزيتى أكثر إذابة فى الماء أو هيدروفيليك (Hydrophilic).

لذلك فإن المادة النهائية تكون من راسب كبير غير محب للماء (Hydrophobic) ومجموعة محبة للماء ومذابة فيه. هذا الاتزان بين المجموعة المحببه والغير محبه للماء تحد إذابة المادة. فى الواقع المادة زيتية جداً لتظل مذابة فى الماء وعالية الإذابة لتظل فى المحلول الحقيقى فى الزيت. لذلك ، فإنهاتتراكم على أسطح الزيت/الماء وعند أسطح السائل/ الصلب مثل سطح المعدن المغمور فى الماء. مثبط آخر أن آيونى عضوى جيد لتآكل الأكسجين هو (MBT , Mercaptobenzothiazole) وهو يستخدم عادة كملح صوديوم.

$$C - S^- - NA^+$$

ذرات الكربون فى الحلقة تم حذفها هنا لأغراض التبسيط.عملياً، كيماويات المثبط نادراً ما تستخدم وحدها. عملياً تجميع الآلاف بنسب مختلفة استخدمت فى تحضير المثبطات التجارية.

فى نظم مياه التبريد المفتوحة، التركيز الكلى لخليط المثبطات هو عادة خلال المجال من 50 – 100 ملجرام/لتر بالإضافة من آن إلى آخر. فى النظم المقفلة مثل مبرد السيارة، المعالجة الواحدة تستخدم 0.5% بالوزن.

المثبطات الكاتايونية العضوية وذات الشحنة المختلطة :

معظم مركبات المثبط المستخدمة لمعالجة آبار الغاز والزيت تحتوى على واحد أو أكثر من الامينات (Ammines). المجموعات الدالة للأمين تكون ملتصقة بسلاسل ضخمة من الكيل الهيدروربونات أو تكوين جزء من بناء حلقة من إميدازولين (Imidazoline) الملتصق به سلاسل طويلة من الهيدروكربونات.

(a) $CH_2\ (CH)_n\ NH_2$ مونو أمين أولى

N= 11 إلى 17 سلسلة الكيل Primary Monoamine

$RNH\ (CH)_2NH_2$ (b) داى أمين مع مجموعات أولية أو ثنائية

$R= CH_3\ (NH_2)\ n'$ داى أمين مع مجموعات أولية أو ثنائية

$n = 11$ to 17

$N - CH_2$ (c) إميدازين مع مجموعة أمين ثلاثية

//

$R_1 - C$

\ N ——— CH_2

|

R_2

$R_1 = CH_3\ \ (NH_2)\ n'$

R_2 = same or may be Ht

- (NH_2) n NH_2-ete

مجموعات الأمين قلوية وتأخذ بسرعة أيونات الهيدروجين (بروتينات) لعمل شحنة موجبة

$$RNH_2 \quad + \quad H^+ \qquad \rightarrow \qquad RNH_3^+$$

(أمين اكتسب روتون) (أيون هيدروجين) (أمين)

أيونات الهيدروجين متاحة من الماء والأحماض. الأمين الذى اكتسب هو عامل نشاط سطحى كاتآيونى (Cationic surfactant) موجب الشحنة الذى يمتص بقوة على أسطح المعدن.

المثبط الأيونى المعملى المؤثر يتكون عند اكتساب الداى أمين ذو التسلسل الطويل اكتساب بروتينات بحامض عضوى لتكوين صابون أو ملح حامضى.

$$[RNH_2\ (CH_2)_3\ NH_3]^{++}\ .\ [RCOO]^-$$

هنا لدينا مجموعات كاتآيونية (موجبة) وآن أيونية سالبة. بسبب المجموعة الآن أيونية، هذه المثبطات ذات الشحنة المختلطة يمكن أن تعمل أفضل فى وجود الأكسجين أكثر من ما تفعله الأمينات الغير متفاعلة بمفردها.

أملاح الأمين – الحامض والأميدازولين هما المنتجين المستخدمين عادة لتحضير المثبطات المذابة فى الزيت والتى تنتشر فى الماء المستخدمة فى حقول البترول.

الجدول الآتى : بيان لكثير من المثبطات الشائعة الاستخدام

جدول كيماويات المثبط :

درجة المجموعة	المـــركب	الاستخدامات
غير عضوى	الفوسفاتات (Na_3PO_4) صوديوم أورثو ($Na_4P_2O_7$) صوديوم بيرو صوديوم تراى بولى ($Na_5P_3O_{10}$) صوديوم هكزا ميتا ($Na_6P_5O_{18}$) الكرومات كرومات الصوديوم (Na_2CrO_4) دايكرومات الصوديوم ($Na_2Cr_2O_7$)	مياه تغذية الغلايات مع (NaOH) وعامل تشتت ميـــاه التبريـــد مـــع الفوســـفات والكرومات وعوامل التشتت مياه التبريد مع الفوسفات الفوســـفاتات وعوامـــل تـــشتت لاستخدام محدود للسمية
	موليبدات الصوديوم (Na_2MoO_4)	الإستخدام مثل الكرومات
	السليكات صوديوم بيتا ($NaSiO_3$) صوديوم أورثو ($NaSiO_4$)	نظم توزيع المياه العذبة
	البوريت Borates صوديوم ميتا NaB_2O_4 صوديوم تترا $Na_2B_4O_7$	نظام تبريـــد المحركـــات مـــع الفوسفات والنيتريت ، MPT
	نيتريت صوديوم $NaNO_2$	مثل البوريت
آن أيونات عضوية	السلفونيت الكيل أريل ($R.SO_4 - Na^+$ Or Ca^{++})	زيوت قطع/تبريد مزلجات سوائل هيدروليكية
	Mercaptobenzotyhiazole (MMT) Sodium MBT	المحركات، نظم تجفيف الميـــاه بالجليكول
	Trizoles Benzo Tolyl	مثبط مـــضاد للتجمـــد لحمايـــة النحاس
	Thioureas $(RNH_2)_2$ CS Alkyl	إضافات سائل الحفـــر منظفـــات

		صناعية (مركزة)
	(RC = CROH) acetylenic alcohols propargul hexynel	تثبيط الحامض مع الأمينات المعقدة
	Phosphonates N (RPO_3 . Na_2^+)3 Amino polyalkyl Dodium salts	مياه التبريد، مع الكرومات، الفوسفات وأملاح الزنك أساسا لتثبيط القشور وتشتت الطين العالق.
الكاتأيونات العضوية	Amine/Acid salts Typically, high molecular weight diamines, combined with high molecular weight organic acids RNH $(CH_2)_3$ NH_2 R. COOH	مواد أساس المثبطات حقول البترول

الباب الثانى

2

الحماية من التآكل لحقول آبار البترول والغاز

الفصل الأول

خواص المياه

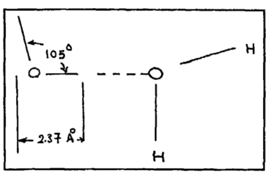
1- خواص المياه

الرمز الكيماوى العادى للمياه هو H_2O. وهذا يعنى أن لكل ذرة أكسجين فى جزئ الماء يوجد ذرتين هيدروجين. بمعنى أن الماء يتكون من بالاتحاد بين عنصرين، الأكسجين والهيدروجين بنسبة ثابته مرتبطين معا كيماويا بنسب وزن محددة والبناء الجزئى للماء يمكن توضيحه كما هو فى الشكل (1).

الخواص الكيماوية والطبيعية للماء النقى ترتبط بالتركيب والسلوك لكل جزئ ماء. ليس كمثل المركبات الأخرى، فالماء شديد التأين، حيث كلا جانبى الجزئ يعملا مثل أقطاب المغناطيس ، وهذا يرجع إلى أن كلا ذرتى الهيدروجين على جانب واحد من الجزئ. جانب ذرة الهيدروجين له شحنة موجبة صغيرة، بينما جانب الأكسجين المقابل له شحنة سالبة أكبر. بسبب توزيع الشحنة فإن جزئ الماء يدور بلا مركزية مقاسة تسمى عزم الاستقطاب (Dipole Moment). عزم الاستقطاب للماء هو (1.84 Debye units) مقارنة بصفر للمذيبات العضوية مثل البنزين أو (CS_2). فالماء مذيب كبير وقوى للاملاح المعدنية والمركبات البلورية مقارنة بالمذيبات العضوية الاقل قدرة على الاستقطاب.

خاصية اخرى لجزيئات الماء هى قوة انجذابها لبعضها البعض. بالإشارة إلى الشكل (1/1) فإن ذرات الهيدروجين مرتبطة بذرة الأكسجين بأربطة تكافؤ المبينة بالخطوط المستقيمة. التكافؤ يعرف درجة قوة الارتباط لكل نوع من العناصر. الأكسجين له تكافؤ اثنين يحتاج لذرتين من الهيدروجين لتكوين ذرة الماء ذلك لأن تكافؤ الهيدروجين هو واحد فقط. كذلك فان كل ذرة هيدروجين تكون منجذبة كذلك لذرات الأكسجين فى جزيئات الماء القريبة منها مكونة الرباط الهيدروجين كما هو موضح فى الخط المتقطع فى الشكل (1) اربطة الهيدروجين اضعف كثيرا من اربطة التكافؤ.

طبقاً لدرجة الحرارة، يمكن أن يكون الماء كجزئ منفرد (H_2O) فى بخار الماء أو أن يكون سلسلة مكونة من 8 جزئيات متصلة معا فى شكل البلمرات بقوى الرباط الهيدروجين. ذلك هو سبب استمرار الماء فى الحالة السائلة عند درجة الحرارة العادية. فمثلا فى حالة كبريتيد الهيدروجين (H_2S) الذى هو فى شكل غاز رغم أن كل جزئ من H_2S يكون تقريبا ضعف وزن H_2O فى H_2S لا يوجد رباط هيدروجين كما فى حالة الماء.



شكل (1/1) بناء جزئ الماء

تأثيرات الرباط الهيدروجين تشرح كذلك لماذا يطفو الثلج (الماء المجمد) فى حالة التجمد (الثلج) تتكيف فى مجموعات مكونة بللوات مع بعض الفراغات المفتوحة فـى البناء البللورى. عند الانصهار فان مصفوفة الفراغات تنهار ويصبح السـائل البـارد أكثر كثافة على المجمد الاكثر برودة قليلاً. وبسبب هذا التحول الفريـد فـى الكثافـة أصبحت محيطات العالم لا تتجمد عند القاع.

رغم أن معظم جزئيات الماء تميل إلى الالتصاق والتماسك مع بعـضها بالربـاط الهيدروجينى كما سبق مناقشته، فان القليل ينفصل كالاتى:

$$(HOH) \rightarrow H^{+} + OH^{-} \quad (1)$$

ماء ايون هيدروجين ايون ايدوكسيد

عملية الانفصال هذه تسمى تأين (Ionization). فى حالة الماء النقى حيث لا يوجد شئ مذاب فيه، فان الذى يتأين هو فقط جزئ واحد من كل عشرة ملايين جزئ. ولكن كيف يتأثر كلا من ايون الهيدروجين وايون الايدروكسيد بـالمواد الأخـرى المذابـة فىالماء وكيف أن هذا يؤثر على خواص الماء وهذا ما سيتم مناقشته فيما بعد.

الجدول (1) بيان للقيم الرقمية لبعض الخواص الطبيعية الهامة للماء.

2- مكونات الماء: [Water constituents]

الماء مذيب قوى حيث يذيب كمية صغيرة لمعظم المادة العضوية وكذلك كثيرا من المركبات العضوية. إلى حد كبير فإن هذه المواد التى اما أن تكون مذابة أو عالقة التى تجعل الماء فى أن تصبح خواصه غير مرغوبة. فى عمليات تكون المشاكل الرئيـسية التى تحدث بسبب الماء وهى:

1- تآكل المعدات

2- انسداد آبار الحقن

3- ترسيب القشور (Scale Deposition)

4- ترسيبات العفن البيولوجى (Biological fouling)

نتيجة لقوتة فى الاذابة فان الماء السائل لا يوجد كمادة نقية فى الطبيعة. لذلك فان حقيقة ما يسمى الماء ليس إلا هو عديد من المحاليل المائية ذات مختلف المكونات والتركيبات. أكثر الملوثات فى الماء هى الاملاح المعدينة المذابة، الغازات والمواد العالقة الغير مذابة مثل الطفلة والمواد العضوية.

فى الجدول رقم (1) يقسم الماء طبقا للمصدر والاستخدام،أو الخواص العامة.

جدول (1) بعض الخواص الطبيعية للماء

درجة الحرارة م5	الكثافة جرام`سم3	الحجم النوعى سم3`جرام	الجذب السطحى داين` سم	ضغط البخار مليتمر زئبق	اللزوجة سنتى بويز
صفر	0.9982	1.00013	-	-	صلب
4	1.00	1.00	75.06	6.101	1.567
30	0.9957	1.0044	71.18	31.824	0.801
100	0.9584	1.0434	58.85	760	0.248

3- سلوك المواد المذابة

من ليس على المام بالعناصر الطبيعية ورموزها يرجع إلى البند (5) والعمودين الأول فى الجدول (2).

جدول (2) تقيم وخواص المياه العامة

	اجمالى المواد الصلبه المذابة ملجرام` لتر	الغازات المذابة O_2	H_2S	CO_2	مكونات عادية اخرى
1- درجة ملوحة المياه					
أ- عذب	2000 >				
ب- حمضى	10000 - 2000				
ج- مالح	10000 <				
د- عسر	20000 >				عسر $CaCO_3$ < 100ملجرام/ لتر
هـ- يسر	2000 >				عسر كربونات الكالسيوم أقل 1003 ملجرام/لتر
2- درجات المصدر					
أ- ماء إنتاج الزيت	15000 – 5000		موجود	موجود	
ب- ماء البحر	40000 – 35000	موجود			
جـ- ماء نهر	5000 – 300	موجود			
د- مياه الابار	10000 –300	متغير	متغير	موجود	
3- درجة الاستخدام					
أ- الحقن	متغير				
ب- التبريد	2000 –200	موجود			
جـ-مخلفات العمليات	20000 – 5000	موجود	متغير		
هـ- مخلفات منزلية	2000 – 1000	موجود	متغير		

رغم ما قد يحدث إلا انه ليس صحيحا اعتبار معظم المواد الموجودة فى المحلول كمركبات متحدة. تحليل الماء الذى يظهر تركيز الأملاح المذابة فى الشكل الجزئى ليس إلا حذر مبنى على حسابات لاتحادات فرضية. عادة تحليل الماء يوضح تركيز الايون.

الأملاح الغير معدنية يمكن اعتبارها موجودة فى المحلول فى شكل كايونات موجبة الشحنة (+) وان ايونات سالبة الشحنة (–) فمثلاً، عند اذابة بللورة من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) فى الماء فان البناء البللورى يختفى ويبدأ تكون الايونات

Nacl $\rightleftharpoons$ Na^+ + Cl

آن ايون كاتأوين جزئ كلوريد

جزئ كلوريد الصوديوم (Nacl) ثابت ومتعادل التكرونيا. مع الاذابــة تفقــد ذرة الصوديوم الكترون لذرة الكلور بذلك يصبح كليهما ايونات بــسبب شــحنتهما. وهــذه الشحنات التى تصنف الايونات عن الذرات. وجود ايونات ذات شحنه تجعل المياه ذات قدرة على التوصيل الكهربى. الملح (Nacl) فى المحلول يزيد كــذلك فــى اللزوجــة، والكثافة، والجذب السطحى. من هذا، نرى كيف أن خواص المياه تغيرت بفعل المواد المذابة فيها. عندما يذيب الماء كلوريد الصوديوم، فان ذرات الأكسجين سالبة الــشحنة لجزئ الماء تنجذب نحو ايون الصوديوم الموجب بينما الجانب الموجب لهيــدروجين جزئ الماء يلتصق بايون الكلوريد. هذا الانجذاب يسمى التميؤ (Hydration) وهو قادر على مقاومة القوى التى تحاول إعادة تكوين بللورة الملح. واخيرا يــصبح المحلــول مشبعا بكلوريد الصوديوم اى أن حد الاذابة تم الوصول إليه حوالى 300 جــرام مــن كلوريد الصوديوم سوف تذوب فى لتر واحد من الماء عند درجة حرارة 20° م (46° فرنهيت) . فى حالة تبريد المحلول المشبع اوتركيزه بالتبخير، فان ايونات الــصوديوم والكلوريد تبدأ فى الارتباط ويعاد تكون بللورات الملح التى يمكن رؤيتها. هذا السلوك موضح بالسهمين فى المعادلة السابقة بخصوص تأين كلوريد الصوديوم.

جدول (3) محتويات الماء المذابة لمادة:

	الرمز الكيماوى	الوزن الذرى	الوزن المكافئ
1- الكاتأيونات			
الصوديوم	Na^+	23	23
البوتاسيوم	K^+	39.1	39.1
الكالسيوم	Ca^{++}	40.1	20.00
المغنسيوم	Mg^{++}	24.3	12.2
الحديد	Fe^{++}	55.8	27.9
المنجنيز	Mn^{++}	54.9	27.5
الباريوم	Ba^{++}	137.4	68.7
الاسترنشيوم	Sr^{++}	87.6	43.8
الالومينوم	Al^{+++}	27	9
2- الآن ايونات			
الكلوريد	$Cl^{'}$	35.5	35.5
الكبريتات	$So_4^{''}$	96.00	48
الكربونات	$Co_3^{''}$	60.00	30
البيكربونات	$HCO_3^{'}$	61.00	61
الايدروكسيد	$OH^{'}$	17	17
3- الغازات			
الأكسجين	O_2		
كبريتد الهيدروجين	H_2S		
ثانى اكسيد الكربون	Co_2		

ملاحظة: تحاليل المياه تبين تركيزات الغازات المذابة فى شكلها الجزئى.

احيانا تحدث ترسيبات املاح فىابار الغاز عند دخول مياه التكوينات الجولوجية (Formation Water) المشبعه بكلوريد الصوديوم إلى فتحة البئر حيث يتم تبريدها وتبخيرها مع تصاعد غاز. تزال الترسيبات بالمياه العذبة.

مثال آخر لسلوك الاملاح هو ذلك لكبريتات الكالسيوم $CaSo_4$. كثيرا من التكوينات الجيولوجية المنتجة تحتوى على بللورات من كبريتات الكالسيوم اللامائى ($CaSo_4$). مياه التكوينات الجيولوجية تذيب بعض من كمية هذا اللامائى طبقا لدرجة الحرارة، الضغط وتركيزات املاح اخرى مثل كلوريد الصوديوم. معدل الاذابة يترواح ما بين 1.5 إلى 6 جرام فى اللتر.

كلا من الضغط وكلوريد الصوديوم تزيد من كمية اللامائى الذى يذاب عند انخفاض الضغط مع تحرك مياه التكوينات نحو شق صخرى أو ثقب البئر، فان تركيز $CaCo_3$ (كما هو) يزيد حد الاذابة (عند انخفاض الضغط) حيث يتكون مجال صلب من $CaCo_3$.

يمكن توضيح التفاعل كالاتى:

(أ) $CaCo_3 \rightarrow Ca^{++} + So_4''$

لا مائى ايون كالسيوم أيون كبريتات

ا لتر سبب عند انخفاض الضغط

(ب) $Ca^{++} + So_4'' + 2H_2O \rightarrow Ca\,So_4'\,2H_2O$

جبس أو كبريتات كالسيوم مائية

عند هذه النقطة سيلاحظ أن ايون الكاسيوم Ca^{++}، له شحنين تكافؤ موجبة، بينما الصوديوم Na^{++} له واحدة فقط. ايوم الكبريتات له اثنين تكافؤ سالب، ولذا فان كل جزء من $So_4^{``}$ يمكن أن يتحد مع جزء واحد من $Ca^{++}$ حيث يتكون $CaSo_4$ الملح المتعادل. الايونات المركبة مثل $So_4''$ التى تتكون من ذرتين أو أكثر لعناصر مختلفة تسمى الشق (Radical). الشق المركب ثابت حتى أن الاذابة فى الماء لا تسبب فصل الذرات المكونة للشق، وكل الشق يحصل على شحنته ليصبح ايون. جزء واحد من $So_4^{``}$ يحتاج إلى جزئين من Na^+ لتكوين ملح كبريتات الصوديوم عالى الاذابة (Na_2So_4).

بالعودة إلى معادلة التفاعل السابقة التى تمثل ترسيب كبريتات الكالسيوم عند الضغط المنخفض، لاحظ أن الماء ليس له تداخل فى هذه العملية. حيث يسود الجيبس أو كبريتات الكالسيوم ذات 2 جزئ ماء (Dihydrate) عند درجات حرارة اقل من 120° م (250° فهرنيت) حيث يسود الراسب القشرى فى شكل كبرتيات الكالسيوم فى آبار الإنتاج. ملح كبريتات الكالسيوم اللامائى يمكن أن يرسب عند درجات الحرارة العالية كما فى حالة الغلايات.

كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ هى ملح آخر الذى يسبب مشاكل رواسب قشرية (Desposts Orscales) أو عالقة فى عمليات الإنتاج. كيمياء تكون $CaCo_3$ كمحلول وترسيبه هى عملية يجب أن يتعرف عليها العاملين فى مجال الإنتاج.

$CaCo_3$ فى الحالة الصلبه توجد فى التكوينات الصخرية مع كثير من الأملاح المحتوية على الكالسيوم (الكلسية – Calcareous) معظم هذه ذات درجة اذابة منخفضة فى المياه المتعادلة ولكن كربونات الكالسيوم ($CaCo_3$) تذوب بسهولة فى المياه المحتوية على ثانى اكسيد الكربون (Co_2).

للأغراض العملية، إذابة كربونات الكالسيوم فى الماء ذات علاقة مباشرة مع تركيز أو الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون فى المجال الغازى فى حالة اتزان مع الماء(الضغط الجزئى – نسبة جزيئات ثانى اكسيد الكربون فى الغاز × الضغط الكلى). اذابة وترسيب $CaCo_3$ يمكن توضيحها بالمعادلات الآتية:

* اذابة $CaCo_3$ بفعل Co_2 عند الضغط المرتفع

(جـ) $CaCo_3 + Co_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCo_3)_2$

بيكربونات الكالسيوم

* تأين بيكربونات الكالسيوم المذابة فى الماء

(د) $Ca(HCo_3)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2HCO'_3$

* تحلل البيكربونات وانطلاق CO_2 عند الضغط المنخفض

(هـ) $2HCo'_3 \rightarrow CO_3'' + CO_2 \uparrow + H_2O$

ايون كربونات

* ترسيب كربونات الكالسيوم الغير مذابة.

(و) $Ca^{++} + Co''_3 \rightarrow CaCo_3 \downarrow$

ايون الكالسيوم ايون الكربونات

فى تلك المعادلات تم ادخال شقين اثنين اضافيين أو ايـونين مـرتبطين HCO_3^- ، Co_3^{--}. معظم المياه الطبيعية تحتوى علـى البيكربونـات HCO_3^- بنـسبة كميـة CO_2 الموجودة. لان CO_2 هو غاز، فانه يهرب بسرعة من الماء عنـد انخفـاض الـضغط وتحاليل الماء عادة لا تظهر CO_2.

البيكربونات HCO_3^- (معادلة د) تقاوم لبعض الوقت فـى المـاء بعـد انخفـاض الضغط، ولكن جزء منها يتحلل بالتدريج طبقا للمعادلة (هـــ). كـلا مـن الحـرارة والضغط المنخفض ينشطا المعادلة (هـ) نحو الاتجاه الأيمن، حيـث يتكـون ايـون الكربونات Co^{--} الذى عندئذ يتفاعل Ca^{++} لتكوين $CaCo_3$.

بينما اذابة $Ca(HCo_3)_2$ تكون مرتفعة إلى حد ما إلا أن إذابـة $CaCo_3$ أقـل مـن 0.05 جرام فى اللتر فى الماء الخالى من CO_2. تتراكم ترسيبات القشور (Scale) من كربونات الكالسيوم فى معدات حقول البترول مثل وحدات المعالجة الحراريـة (Heat Treaters)، ابار الحقن تحت التفريغ، وأماكن كثيرة أخرى.

4- تفاعلات التحلل بالماء : [Hydrolysis Reactions]

التفاعل الكيماوى الهام الذى يشمل الماء (فى شكل H_2O) هو تحلل غازات واملاح معينة بالماء. التحلل بالماء هو تفاعل كيماوى حيث يتفاعل المركب مع الماء لتكـوين حامض، قلوى أو كليهما. مثل هذه التفاعلات تغير الحموضـة أو القلويـة للمحلـول وبالتالى استعداده لترسيب القشور (Scales)، تاكل المعادن، وتغيير كيماويات اخرى.

المادة التى تذوب فى المـاء لتوليـد ايونـات الايدروكـسيد (OH^-) أو ايونـات الكربونات (HCo_3^{--}) تسمى المادة القلوية والمحلول يسمى القلوى أو القاعدى. القلويات تعادل الأحماض أمثلة للقلويات هى:

1- الامونيا NH_3 (ايدروكسيد الامنيوم هو NH_4OH)

2- ايدروكسيد الصوديم $NaOH$ (صودا كاوية)

3- كربونات الصوديوم Na_2CO_3 (الصودا آش)

4- بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ (بيكنج باودر)

الأحماض هى المواد التى تزيد تركيز ايون الهيدروجين (H^+) عند اذابتها فى الماء ولها القدرة على معادلة القلويات وبعض الأحماض المألوفة هى:

1- حامض الهيدروكلوريك HCl (حامض Muriatic)

2- حامض الكبرتيك H_2SO_4

3- حامض الاسيتيك CH_3COOH

4- حامض الكربونيك H_2CO_3 (CO_2 فى الماء)

القلويات والأحماض تتفاعل لتكون الأملاح التى يمكن أن تكون متعادلة، قلوية أو حامضية (عند الإذابة). الملح المتعادل NaCl يتكون بتفاعل قلوى قوى مع حامض ضعيف وعند الإذابة فى الماء تنتج محلول قلوى. مثال ذلك كربونات الصوديوم (الصودا آش9 التى تتكون بتفاعل NaOH وهو قلوى قوى مع H_2CO_3 حامض الكربونيك وهو حامض ضعيف. الأملاح الحامضية تتحلل فى الماء لتكوين فى الماء لتكوين حامض قوى وقلوى ضعيف الذى تكونت منهم اصلا هذه الأملاح الحامضية. الاتى مثال

$2FeCl_3 + 6H_2O$ →	$2Fe(OH)_3$ +	$6HCl$
كلوريد الحديد	ايدروكسيد الحديد	حامض الهيدروكلويك
	(قلوى ضعيف)	(حامض قوى)

5- محتويات الماء الموجودة بالتحاليل:

تحليل المياه اظهرت تركيزات المكونات الرئيسية الموجوة فى عينة الماء عند عمل التحليل المعملى. تتم عدة اختبارات تحليليه لتعيين تركيز الايونات المذابة الموجودة عادة. التحاليل الروتينية تمكن من تعيين أكثر من 99% بالوزن من المواد الموجودة فى المحلول.

الجدول (3) يوضح بيان المكونات المذابة الموجودة غالبا فى الماء التى أظهرتها التحاليل المعملية. يلاحظ أن هذه المكونات تنقسم إلى ثلاث مجموعات هى:

1- الكاتأيونات موجبة الشحنة.

2- الآن ايونات سالبة الشحنة.

3- الغازات

كل الكاتأيونات هى عناصر معدنية وكل الآن ايونات عناصر غيــر معدنيـــة أو مجموعات من عناصر غير معدنية (Radicals). هذه المـــواد توجــد فـــى المحلـــول كأيونات لها شحنة كهربية.

بالإضافة إلى المادة المذابة والغازات المذابة فى عينة الماء، فقد اظهرت تقـــارير تحاليل كثيرة إجمال الكمية الغير مذابة الموجودة. وهذه كانت أجسام صـــغيرة التـــى كانت عالقة فى الماء عند اخذ العينة. الجدول (4) يوضح أنواع المواد الغيـــر مذابـــة الموجودة عادة فى مياه حقول البترول.

جدول (4) المواد العالقة والعضوية الموجودة فى الماء:

مواد غير عضوية غير مذابة	مواد عضوية
كربونات وكبريتات الكالسيوم	البكتريا، الخمائر، الطحالب ، البروتوزوا،
طفلة	نباتات متحللة
رمال أو كوارتز	تانين (Tannins) من الاخشاب
اكاسيد حديد ، مغنسيوم، الومنيوم	مواد صابونية وبلمرات
سلفيد الحديد (Iron sulphide)	زيـــــوت
كبريتات الباريوم	
سيليكا (وهذه يمكن أن تكون عالقة أو مذابة فى شكل SiO_2	

6- بعض خواص الكاتايونات المعدنية وأملاحها

كلا من الكاتأيونات الموضحة فى الجدول (3) يمكن فى الظروف المناسبة أن تتحد مـــع اى من الآن ايونات لتكوين الملح. عند حدوث الاتحاد فان اجمالى عدد الـــشحنات المكافئـــة الموجبة (+) للكاتأيونات يجب أن تساوى تماما اجمالى الايونات السالبة (–) المكافئة. فمثلا، ايون صوديوم واحد (+N) له تكافؤ يساوى واحد يمكن أن يتحد مـــع ايـــون كلوريـــد (´Cl) تكافؤه واحد لتكوين ملح (NaCl) . ويلزم عدد اثنين ايون من الـــصوديوم (+2Na) لايـــون واحد من الكبريتات (˝So4) لتكوين NaSo4. يلزم ايون واحد فقط له تكافؤ مزدوج مثل ايون (++Ca) (Divalent) لواحد فقط من ايون ¨So4 لتكوين ملح CaSo4. يتحـــد اثنـــين مـــن ايونات الالومنيوم (+++AL) مع ثلاث ايونات من ˝So4 لتكوين AL2 (SO4)3 وهكذا.

أكثر من 45 ملح ممكنة من الجدول (3) والتى يكون لهـــا خواصـــها الكيمائيـــة والطبيعية الخاصة بها. ويمكن ذكر الملاحظات الاتيه.

1- كل الأملاح العاديه للصوديوم والبوتاسيوم (Na) ، (K) شديدة الذوبان فى الماء أملاحها من الكلوريدات والكبريتات تكون متعادلة ولكن الكربونات والبيكربونات تكون قلوية.

2- املاح الكوريد لكل من Ca ، Mg، Ba و Sr تكون مذابة فى الماء ، ولكن محاليها من املاح الكبريتات تختلف كالاتى:

$$BaSo_4 < SrSo_4 < CaSo_4 < MgSo_4$$

← ادنى أعلا →

أملاح الكربونات والايدروكسيد لكل من Ca ، Mg، Ba و Sr كلها ذات إذابة منخفضة فى الماء مع $Mg\ (OH)_2$ الاقل إذابة فى الماء المتعادل الغير حامضى.

3- كلوريدات وكبريتات الحديد، المنجنيز والالومنيوم تكون مذابة فى الماء ومحاليلها تكون حامضية جدا وأملاحها العادية الأخرى (الكربونات ، الايدوكيدات ، السلفيدات ... الخ) لها إذابة منخفضة فى الماء ولكنها تذوب فى الأحماض .

خواص المياه التى تحدد بالتحاليل:

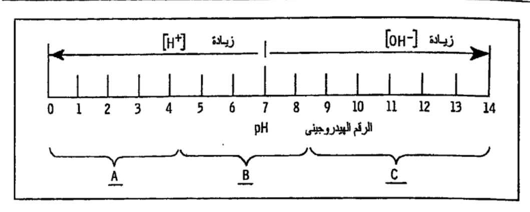
وجود مادة مذابة أو عالقة بكميات مختلفة بسبب ظهور نوعيات معينة للماء والتى تقاس كالصفات الآتية:

1- الحموضة: هى القدرة على معادلة المادة القلوية، وعادة تكون بسبب ثانى اكسيد الكربون، الأحماض العضوية، الأحماض المعدنية أو تحلل الأملاح الحامضية.

2- القلوية: القدرة على معادلة الاحماض عادة بسبب ايونات البيكربونات (HCO_3^-)، الكربونات (CO_3^{--})، ايونات الايدروكسيد (OH^-).

3- الرقم الهيدروجينى PH : وجود نشاط ايون الهيدروجين (H^+) الحموضة، القلوية ، الرقم الهيدروجينى هى ذات علاقة مرتبطة ببعضها وهى هامة بالنسبة لقدرة الماء على احداث التآكل، والترسيبات القشرية (Scales) ومشاكل اخرى.

التعبير (pH) مشتق من الكلمة الألمانية Potenz اى القوة power ورمز الهيدروجين (H) القيمة الرقمية للرقم الهيدروجينى (pH) هى مؤشر لكثافة الخواص الحامضية أو القلوية للماء (ليست القدرة الكمية على أحداث التعادل). الشكل (2/2) يوضح مقياس قيمة (pH) كما يستخدم على جهاز قياس الـ (pH)



شكل (2/2) توقيع قيمة الرقم الهيدروجينى والمناطق الثلاث للقلوية

فى حالة الماء النقى عند رقم هيدروجيني (PH = 7)، فان كلا من تركيزات ايون الهيدروجين وايون الايدروكسيد متساويين حيث يقال أن المحلول متعـــادل (Neutral). المحاليل الحامضية لها رقم هيدروجيني (PH) اقل من (7 مع زيادة الحموضة ينخفض الرقم الهيدروجيني. المحاليل القلوية لها رقم هيدروجينى اعلا من 7 ومع زيادة القلوية حيث يزداد الرقم الهيدروجينى والعكس صحيح.

(الموضح فى الشكل (2) هو ثلاث مناطق للرقم الهيدروجيني (PH) وهـــم (A) ، (B)، (C). المنطقة (A) هى من رقم هيدروجيني 2، 4 والى الادنى حيث القلوية تكون صفر. التركيزات العالية من CO_2 يمكن أن تدفع الرقم الهيدروجيني للمياه الخالية مـــن الأملاح المعدنية إلى اسفل نحو هذا المجال. المحاليل المائية للاحماض العضوية مثـــل حامض الفورميك والاسيتيك التى تستخدم أحيانا فى تحميض الآبار (Well acidizing)، تنتج قيم رقم هيدروجيني من 1 إلى 2، بينما محاليل الأحماض القوية مثل 10% من حامض الهيدروكلويك (HCl) هى ذات رقم هيدروجيني اقل من واحد. محاليـــل عـــادم حامض الهيدروكلوريك من معالجة تنشيط وتقويـــة البئـــر تكـــون ذات قيمـــة رقـــم هيدروجيني ما بين 2 إلى 2.5. عينة الماء ذات رقم هيدروجيني اقل مـــن 4 يمكـــن اعتبارها ملونة حيث أن المياه الطبيعية لن تكون بهذه الدرجة من الحموضة. كل المياه ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض تعتبر عدوانية بالنسبة للصلب. معظم المياه الطبيعية تقع فى المجال للرقم الهيدروجيني الموضح فى المنطقة (B) من الشكل (2/2). قلويـــة البيكربونات (HCO_3^-) تزيد عن هذا المجال للـــرقم الهيـــدروجيني (4.2 إلـــى 8.3)

وحموضة Co_2 (ثانى اكسيد الكربون) الحر تنخفض. حيث أن CO_2 يتطاير فانه يهرب بسرعة من الماء وبذا يزداد الرقم الهيدروجيني للماء. هذا التأثير له شعبتين هامتين.

أ- العدوانية للتآكل تميل إلى الانخفاض وراسب الكربونات (Carbonate Scales) يزداد حدوثه مع فقد Co_2 وزيادة القلوية.

ب- فى حالة عدم استخدام طرق خاصة لأخذ العينات لمنع الفقد فى Co_2، فان تركيز البيكربونات (القلوية) والرقم الهيدروجيني (PH) المبين بتحاليل المياه لا تعكس بدقة المكونات الأصلية للمياه.

المنطقة (C) فى الشكل (2) هى مجال أعلا قلوية. ما بين 8.2 إلى أعلا قليلا من 12 فانه يوجد فى المحلول كلا من ايونات البيكربونات والكربونات ($HCO_3^{'}$)، ($CO_3^{'}$). بعض المياه الطبيعية لها رقم هيدروجين فى النهاية السفلى لهذا المجال. ولكن قلوية الكربونات $CO_3^{`}$ عادة تكون نتيجة تحلل البيكربونات $HCO^{`}_3$. ظهور $CO_3^{``}$ مع ترسيب قشور $CaCo_3$ يحدث عند ازالة الهواء من ماء البحر بوساطة غاز أو بالتفريغ. ينتج موقف مشابة عند استخدام الماء ذو القلوية العالية فى نظم التبريد. الماء ذو القلوية العالية للبيكربونات يفقد CO_2 ويميل إلى تكوين رواسب قشرية من $CaCo_3$ (Scales) ، وذلك عند التسخين فى وحدات المعالجة الحرارية (Heat Treaters) أو عادة عند دخوله إلى ابار الشحن الجوفى تحت التفريغ.

عند رقم هيدروجيني أعلا من 12 تقريبا تظهر القلوية بسبب وجود ايونات الايدروكسيد الحرة ($OH^{'}$). مثل هذه القلوية العالية يتم الوصول اليها فى مياه صرف الغلايات (Boiler Blow Down) وكذلك عند إضافة الصودا الكاوية إلى سوائل الحفر كمثال. عند ظهور ($OH^{'}$) فى تحاليل المياه فان $HCO^{`}3$ يكون صفر لان كلا من الايونين يتفاعلا.

قدرة الدرئ (Buffer) هى خاصية اخرى للماء مرتبط بالقلوية. المحاليل التى تقاوم التغير فى الرقم الهيدروجيني عند إضافة أحماض أو قلويات تسمى محاليل الدرئ (Buffers solutions). التركيز العالى من البيكربونات يمكن أن يسبب تأثير الدرئ. ايون $HCO^{`}_3$ يتفاعل مع إما حامض قوى أو قلوى قوى (وبذا يعمل على إعاقة الرقم الهيدروجيني) كما هو موضح فى المعادلات الآتية:

(a) $HCO_3^{'} + H^{'} \rightarrow H_2O + CO_2 \uparrow$

(b) $HCO_3^{'} + OH^{'} \rightarrow Co_3^{''} + H_2O$

قلوى

بسبب التفاعل (b) فان ايونات البيكربونات وقلوية الايدروكسيد لا توجد في المحاليل المخففة.

الملوحة : Salinity

يستخدم مصطلح الملوحة لتصنيف المحتوى من الأملاح المذابة في الماء. ملوحة الكلوريد تبين التركيز الكلى للكلوريد ، (Cl^-) الموجود فى الماء . قيمة الملوحة تكون مرتفعة فى المياه شديدة الملوحة (Brine).

الأملاح الكلية المذابة (TDS- Total Dissolved Solids)

هى مجموع كل الايونات المذابة (الكاتأيونات + الآن ايونات) الموضحة نتيجة التحاليل. يتم تحديد الأملاح الكلية المذابة TDS بالتبخير حيث يتم التسخين والتبخير الحذر لحجم صغير من الماء (حوالى 50 إلى 100سم^3) ثم وزن المتبقى من الملح الذى تم تجفيفه. النتائج تكون بالمليجرام/ لتر أو بالجزء فى المليون. الأملاح الكلية المذابة (TDS) التى يتم تعيينها بالتبخير هى عادة اقل من الأملاح المذابة بجميع الايونات التى يتم تحديدها بالتحاليل بسبب الفقد بالبخر.

الكثافة: (Density)

الوزن لوحدة الحجم يعبر عنه بالجرام فى اللتر، بالرطل فى الجالون، الكيلو جرام فى المتر المكعب... الخ.

الجاذبية النوعية (الثقل النوعى) Specific Gravity

نسبة كثافة الماء الجارى اختباره إلى كثافة الماء النقى (حيث لا توجد أملاح مذابة) عند درجة حرارة معينة. لكونها نسبة فان الثقل النوعى ليس له وحدات مثل جرام/ لتر... وهكذا. الثقل النوعى يتم عادة قياسه بجهاز المسيل لقياس الثقل النوعى للسائل – الهيدروميتر (Hydrometer) . الهيدروميتر أو المسيل يطفو عند اعماق مختلفة فى حجم من الماء الجارى اختياره حيث يتم قراءه قيمة الثقل النوعى على ذراع مدرج عند سطح الماء. هذه الاجهزة عادة تكون مدرجة عند 4° م حيث تكون كثافة الماء النقى هى واحد تماما. فى حالة درجة حرارة (الماء الجارى اختباره اكبر من 4° م، فان درجة الحرارة المقاسة يتم تسجيلها كالاتى:

الثقل النوعى عند $\frac{20\ م}{4\ م}$ ، $\frac{25\ م}{4\ م}$ ... الخ

الأملاح الكلية المذابة تزيد من كثافة الماء وبالتالى الثقل النوعى. نظرا لان كمية الزيادة تختلف باختلاف الأملاح، فان قيم الكثافة أو الثقل النوعى لا يمكن استخدامها مباشرة كمقياس للأملاح الكلية المذابة. ولكن المعادلة التالية توفر تقريب بدقة مناسبة لتقدير الأملاح الكلية المذابة فى مياه حقول البترول ذات ملوحة 10 إلى 150 جرام` لتر (10000 إلى 150000 ملجرام/لتر أو جزء فى المليون).

الأملاح الكلية المذابة (TDS) بالجرام/ لتر = (الثقل النوعى − 1) × 1380

$$\text{الثقل النوعى (Sp.Gr)} = 1 + \frac{\text{الأملاح الكلية المذابة (جرام/ لتر)}}{1380}$$

المواد الصلبه العالقة: (Total suspended solids)

وزن المواد الصلبه العالقة الغير مذابة التى يتم ترشيحها من حجم معلوم من الماء، تقيم بالمليجرام/ لتر. تستخدم مرشحات من غشاء البلاستيك للاختبار والتى تقوم بحجز المواد الصلبه اكبر من 0.45 ميكروميتر (ميكرون أو ميكروميتر) وهى تسمى مرشحات (Millipore)، وتستخدم مادة لتعيين اجمالى المواد الصلبه العالقة (Total suspended solids-TSS)

العكارة: (Turbidity)

العكارة هى خاصية بصرية متعلقة بامتصاص وتشتت الضوء فى الماء. هذا القياس التجريبى يوفر رقم الذى تتأثر قيمته بكمية ونوع المواد العالقة. التركيز الحقيقى للمواد العالقة لا يتم تحديده وعموما لا توجد علاقة معتمدة بين قراءات العكارة ووزن المواد الصلبه العالقة. ولكن، اختبار العكارة سهل عمله باستخدام أجهزة قياس العكارة والتغير فى العكارة عادة يعطى مؤشر للتغير فى نوع أو كمية المواد الصلبه العالقة.

جهاز قياس العكارة (Turbid meter) الدقيق وسهل الاستخدام موضح كمخطط فى الشكل (2/3) كمثال للاستخدام حيث أن هذا الجهاز يمكنه استشعار تسرب المواد الصلبه العالقة من خلال لمياه المرشح التى تم ترشيحها.

- **الأكسجين الحيوى المطلوب:** (Biochemical Oxygen Demand- BOD)

هو كمية الأكسجين المذاب اللازمة اثناء تثبيت المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى بفعل المعالجة البيولوجية الهوائية.

الأكسجين الكيماوى المطلوب: (Chemical Oxygen Demand- DOD)

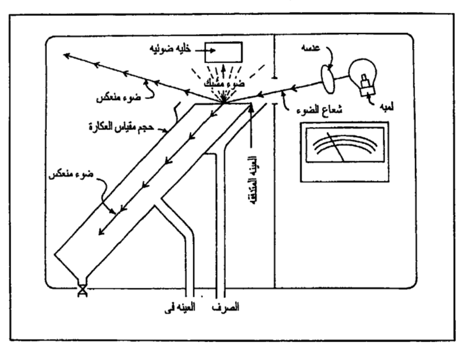
كمية الأكسجين المستهلك اثناء اكسدة الكيماوية للمادة العضوية فــى ظــروف مختلفــة. تستخدم القيمة لرصد مخلفات المصنع والتدفقات ولكن لا تظهر مباشرة كمية المادة الكربونية أو كمية المواد العضوية القابلة للتحلل والاكسدة البيولوجية.

8- وحدات التركيز: [Units of Concentration]

فى تحاليل المياه تستخدم عدة تعبيرات أو وحدات للتعبير عن التركيزات للمواد المذابــة أو العالقة فى تقارير تحليل المياه. القائمين على عملات إنتاج زيت البترول يجــب تفهمهــم معنى هذه الوحدات وكيفيه استخدامها للمقارنة وللحسابات.

الجدول (5) يوضح الوحدات السبع العادية للتركيز، الرمز ، ووصف مختصر لكل.

(1)، (2) الوحدة المفضلة لتعيين وزن كل من المكونات بالنسبة لوحدة الحجم للماء هــو الملجرام/ لتر. ولكن الجزء فى المليون مازال يستخدم وخاصة لتعيــين تركيــز الأكــسجين المذاب وكبيرتيتد الهيدروجين (H_2S) المذاب.



شكل (2/3) مخطط جهاز قياس العكارة

جدول (5) وحدات التركيز لمكونات الماء:

الوحدة	الرمز	الوصف
(1) مليجرام/ لتر	مليجرام/ لتر	عدد المليجرامات من المادة فى كل لتر من الماء
(2) جزء فى المليون	جزء فى المليون	يساوى تقريبا مليجرام/ اللتر جزء فى المليون / الثقل النوعى = ملجرام/ لتر للماء
(3) Mill equivalent/ Litre	Meq/ L	ملجرام/ لتر / الوزن المكافئ
(4) Equivalent Per Million المكافئ فى المليون	e.p.m	جزء فى المليون / الوزن المكافئ
(5) الحبة الجالون Grain Per Galoon	gpg	ملجرام / لتر × 17.1
(6) مكافئ كربونات الكالسيوم	ملجرام/ لتر مقيم $CaCo_3$	ملجرام/ لتر من تحاليل المياه للايون × 50 / الوزن المكافئ للأيون من جدول (3)
(7) نسبة الوزن	الوزن %	جرام/ 100سم^3 أو مليجرام/لتر / 10000

لأغرض كثيرة يمكن استخدام كلا من ملجرام/ لتر، جزء من المليون. فى حالة المياه ذات الملوحة المنخفضة والتى لها ثقل نوعى قريبا من واحد، فان الخطأ يكون صغير لأن كثافة الماء هى واحد كيلو جرام/ لتر (أو مليون مليجرام/لتر). لذلك فان واحد ملجرام فى واحد كيلو جرام هو جزء فى المليون بالوزن فى المياه ذات الملوحة

المنخفضة. يمكن حساب العلاقة الدقيقة بين جزء فى المليون ومليجرام/ لتر لاى مياه وذلك بأخذ الثقل النوعى (Sp.G) فى الاعتبار (انظر الجدول رقم 5).

(3) أحد الوحدات الهامة جدا للتركيز والتى لا يتم فهمها بسرعه هى الملى المكافئ فى اللتر (Mill equivalent/ L). ولكنها فى الواقع بسيطة. بالاشارة إلى الجدول (3)، يلاحظ أن كل كاتأيون وآن أيون لـه وزن ذرى معين أو وزن شقى (Radical Weight) ينسب إليه.بالنسبه لايونات العنصر الواحد، لكل الكاتأيونات وأيون الكلوريد فان قيم الوزن الذرى هى أوزان مستقلة للعنصر. أوزان العنصر مبينه على مقياس أن ذرة الكربون 12 لها وزن 12 تماما. أوزان العناصر الأخرى تقارن بهذا المقياس اى أن الوزن الذرى للبوتاسيوم هو 39.1 والذى هو:

$\frac{391}{12}$ أو 3.258 ضعف وزن الكربون.

الشق الكيماوى (Radicals) مثل الكبريتات، البيكربونات، الكربونات هو مجموع الأوزان الذرية للعناصر المكونة للشق. فمثلا، الوزن الذرى القياسى للاكسجين O، هو اقل قليلا من 16 والوزن الذرى القياسى للهيدروجين هو اكبر قليلا من واحد. لذلك وزن شق ايون الايدروكسيد (OH^-) هو 17 كما فى الجدول 3. الأوزان المكافئة الموضحه فى الجدول (3) هى الأوزان الذرية أو الأوزان الشقية (Radical Weights) مقسومة على عدد تكافؤات العنصر اوالشق. فمثلا، تكافؤ الصوديوم هو واحد (يبين بالرمز +) وزنه الذرى وووزنه المكافئ كلاهما بنفس القيمة عندما يكون تكافؤ الايون (2) أو أكثر، فان الوزن المكافئ يصبح 2/1 أو 3/1 أو كسر آخر للوزن الذرى أو الوزن الشقى كما هو ملاحظ فى الجدول (3) المكافئ الملى (Millieqivalent) لاى ايون أو ملح هو الوزن المكافئ مقسوما على 1000.

من الجدول (5) يلاحظ أن الملى المكافئ (أو المكافئ الملى) فى اللتر، لاى ايون هو ببساطة عدد المليجرامات فى تركيزات اللتر (الذى توضحه تحاليل المياه) مقسوما على الوزن المكافئ لهذا الايون (من جدول 3).

فمثلا 1000 ملجرام/ لتر لايون الكالسيوم Ca^{++} يساوى

$\frac{1000}{20}$ أو 50 ملى مكافئ لايون الكالسيوم Ca^{++}

وبالمثل، 1000 ملجرام/ لتر لشق الكبريتات SO_4'' يساوى

$\frac{1000}{48}$ أو 20.8 ملى مكافئ/ لتر لـــ SO_4''

عدد الملى المكافئ فى اللتر لكل ايون المبين فى تحليل المياه، عادة يتم توضـــيحه على طول عامود بيانات المليجرام/لتر. السبب فى بيان الملى المكافئ فى اللتر هو أن وحدة التركيز هذه مفيدة فى عمل حسابات كيماوية معينة مثـــل احتمـــال الترســـيبات (Scale Prediction) فمثلا، نفترض أن تحاليل المياه أظهرت أنــــه لكــــل مــــن Ca^{++}، SO_4'' 1000 ملجرام/ لتر والمطلوب معرفة كمية كبريتات الكالــسيوم فـــى المـــاء ($CASO_4$). الملى المكافئ لكل من تلك الايونـــات هـــو 50 للكاســـيوم، 20.8 لـــشق الكبريتات كما تم حسابه سابقا.

رغم أن تركيزات Ca^{++}، SO_4'' مقيمة بالميلجرام/ لتر هى متساوية، فإنه يلاحـــظ أن تركيز SO_4'' بالملى مكافئ/ لتر اقل من ملى مكافئ / لتر لــــ Ca^{++}. فـــى هـــذه الحالة، اقصى تركيز مقيم بالملى مكافئ/ لتر لـــ $CaSO_4$ يحدد بـــ ولا يزيد عن الملى مكافئ/ لتر لـــ SO_4''. لذلك، تركيز $CaSO_4$ فى هذا الماء تحديدا يؤخذ ك 20.8 ملـــى مكافئ/ لتر.

عندما يكون الملى مكافئ/ لتر لـــ Ca^{++} فى تحليل المياه اقـــل مـــن ذلـــك لـــشق الكبريتات SO_4''، فان الملى المكافئ/ لتر لـــ $CaSO_4$ يساوى لـــ الملى المكافئ/ لتر لـــ Ca^{++}.

لترجمة 20.8 ملى مكافئ/ لتر لـــ CaSo4 فى المثال السابق عودة إلى ملجرام/ لتر أو جزء فى المليون، فان الوزن المكافئ يجب معرفته. وهذا يمكن تحديده بسهولة بالاشارة إلـــى الجدول (3) للأوزان المكافئة لـــ Ca^{++}، SO_4'' واضافة الرقمين

20	+ 48	=	68
الوزن المكافئ لـــ Ca^{++}	الوزن المكافئ لـــ SO_4''		الوزن المكافئ لـــ $CaSO_4$

من الجدول (5) ملى مكافئ/ لتر = $\frac{\text{ملجرام/ لتر}}{\text{الوزن المكافئ}}$

أو الملى مكافئ/ لتر × الوزن المكافئ = ملجرام/ لتر

و $20.8 \times 68 = 1414$ ملجرام/ لتر $CaSO_4$

ملى مكافئ/ لتر سيتم استخدامه فى التنبؤ بحدوث الترسيبات فـــى الفــصل (2)، (4)، (5) نادرا ما تستخدم المكافئات بالمليون والحبات فى الجدول فى التقارير الحديثة لتحاليل المياه.

(6) مكافئ كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ مازال يستخدم فى حسابات ازالة العـــسر من المياه وهو الوحدة القياسية لتقدير القلوية والعسر.

أ- العسر هو خاصية المياه التى كانت فيما سبق قياس لكمية الصابون اللازمـــة لانتـــاج الرغاوى فى عمليات التنظيف مثل غسيل الأطباق أو الاستحمام. بالعودة إلـــى الجـــدول (2) يلاحظ أن الملوحة المنخفضة للمياه العذبة (مثل مياه الاستخدام المنزلى أو كميات تبريـــد أو مياه تغذية الغلايات فى الاستخدامات الصناعية) تقسم كمياه عسر أو مياه يسر طبقـــا لدرجـــة العسر المقيمة ك $CaCo3$. القيمة الكلية لعسر المياه ك $CaCo3$ يتم حسابها من تحاليل الميـــاه بتحويل الملجرام/ لتر لكل مــــن Ca^{++}، Mg^{++} ، F^{++} إلـــى المكـــافئ $CaCo3$ بطريقـــة الحساب الموضحة فى الجدول (5) واخذ المجموع. العسر الكلى مقيم ككربونات الكالـــسيوم $CaCo3 = Ca^{++}$ مقيم $CaCo3$ (B). قلوية الماء تكون نتيجـــة وجـــودة ايونـــات $HCO3^{''}$، $CO3^{''}$ أو $OH^{'}$. فى معظم المياه الطبيعية يوجد فقـــط ايونــــات $HCO3^{'}$ ، $CO3^{''}$ وكميـــة صغيرة من ($OH^{'}$). يتم حساب القلوية الكلية مقيمة $CaCo3$ يتحويل ايونــــات القلويـــة إلـــى المكافئ لها من $CaCo3$ واضافة قيم $CaCo3$. فى حالة وجود كلا مـــن $HCO3^{'}$ ، $CO3^{''}$، فان القلوية الكلية هى مجموع $HCO3^{'}$ (مقيم $CaCo3$) + $CO3^{''}$ (مقيم $CaCo3$) . فى حالة وجود $CO3^{''}$ ، $OH^{'}$ (نادرا) فان القلوية الكلية هى مجمـــوع $CO3^{''}$ (مقـــيم ك $CaCo3$) + $OH^{'}$ (ك $CaCo3$)

امثلة لحسابات العسر الكلى والقلوية الكلية موضحه فى المثال التالى:

مثال لحسابات تحليل البيان وتفسيراتها:

الجدول (6) يوضح نتائج الاختبارات التحليلية من اربع عينات للمياه. البيانـــات ســـيتم استخدامها لتوضيح كيف أن تحاليل المياه يمكن استخدامها لحسابات وارتباطات معينه .

الجدول (2/6) مثال لتحاليل المياه

الايون	العينة(1) مياه عذبة		العينة(2) مياه البحر		العينة(3) مياه التكوينات (فطرى)		العينة(4) مياه منتجه	
	ملجرام/لتر	ملى مكافئ/ لتر	ملجرام/لتر	ملى مكافئ/ لتر	ملجرام/لتر	ملى مكافئ/ لتر	ملجرام/لتر	ملى مكافئ/ لتر
Na^+	1364	5903	11.144	484.5	31.602	1374	28.543	1241.00
K^+	8	0.2	-	-	-	-	-	-
Ca^{++}	101	5.1	464	23.2	18.662	933.1	14.010	700.5
Mg^{++}	28	2.3	1.350	111.00	2.838	232.6	2.470	202.5
Fe^{++}	3	0.1	-	-	-	-	-	-
Ba^{++}	صفر	-	-		-	-	-	-
Sr^{++}	صفر	-	-		-	-	-	-
CL^-	2265	63.8	19.9	562.1	89.499	2.5211	75.5	2126.8

SO_4	24	0.5	2.6	54.4	410	8.5	432	9.00
HCO_3	165	2.7	149	2.5	617	10.1	502	8.2
CO_3	صفر	-	صفر	-	صفر		صفر	-
OH	صفر	-	صفر	-	صفر		صفر	-
TDS	3955	-	35.607	-	143.559		121.457	-
ثقل نوعى	1.003	-	1.026		1.104		1.088	-
PH	7.9	-	7.8		6.2		7.4	-
PHsعند 350	6.9	-			-		-	-
O_2	2.1	-	3.8		-		-	-
H_2S	صفر	-	-		139		190	-

1- العينة رقم (1) تم اخذها من بئر ضحل (35 متر) فى تربة رملية طفلية كان الغرض من استخدام المياه هو لنظم التبريد وتغذية الغلاية فى مصنع لتصنيع الغاز. تم قياس المحتوى من الأكسجين والرقم الهيدروجيني (PH) للماء عند رأس البئر اثناء جمع العينة.

كان الملصق على العينة رقم (1) يشير أنها مياه عذبة، ولكن من مراجعة تحليل المياه، فان ماء البئر يصنف كمياه حمضاء (Brakish)، راجع الجدول رقم (2). كذلك اظهرت التحاليل أن غالبية المكونات المذابة هى NaCl. الماء لا يحتوى على (OH`) أو (CO3″) ولذلك فان القلوية ترجع كلية إلى 165 ملجرام/ لتر . للبيكربونات (HCO3″) نقييم القلوية للمكافئ من CaCo3 تم حسابه لهذا الماء كالاتى: أن القلوية الكلية ك CaCo3 = 165 × $\frac{50}{61}$= 135 ملجرام/ لتر لهذا الحساب تم اخذ تركيز البيكربونات من تحليل المياه (HCO``3) والوزن المكافئ للبيكربونات (HCO`3) من الجدول (3).

ثم حساب العسر لتعيين قدرة اليسر (Softening) للماء اللازم فى حالة استخدام الماء لتغذية الغلاية كالاتى:

العسر الكلى ك $CaCo_3$ = Ca^{++} + Mg^{++} + Fe^{++} مقيمين ك $CaCo_3$ أو بالنسبة للعينة (1).

$$(\frac{50}{20} \times 101) + (\frac{50}{12.2} \times 28) + (\frac{50}{27.9} \times 3) = 573$$ ملجرام/ لتر مقيم ك CaCo3

لاحظ أن تحليل العينة رقم (1) أن كلا من قيمة الرقم الهيدروجيني PH ، وقيمة الرقم الهيدروجيني للتشبع (PH_S) موضحين. كما تم قياس الرقم الهيدروجيني الحقيقى عند رأس البئر اثناء اخذ العينة. تم حساب قيمة PH_S بعد تمام عمل التحاليل. PH_S هو الرقم الهيدروجيني للتشبع، اى الرقم الهيدروجيني النظرى للماء وذلك فى حالة تشبعه تماما بكربونات الكالسيوم $CaCo_3$. سيتم مناقشه حسابات لتقدير استعداد المياه لترسيب كربونات الكالسيوم فى الفصل الثاني بالتفصيل.

. بالنسبة للعينه رقم (1) كان الرقم الهيدروجيني الحقيقى (PH) أعلا من الرقم الهيدروجيني للتشبع (PH_S) عند 50° م وهذا يبين أن ترسيبات قشور $CaCo_3$ احتمال حدوثها فى حالة استخدام هذه المياه فى مصنع الغاز كما كان مخططا.

بناء على تحليل المياه والحسابات السابقة، فان الشركة المسئولة عن إدارة الميـــاه فى المصنع الجديد استنتجت أن ماء البئر غير مناسب للغرض المطلــوب للاســباب الآتية:

أ- العسر العالى:

تكاليف ازالة العسر للماء (ازالة ايونات العسر) كانت عاليه ذلك لان العسر كــان يلزم خفضه من 373 ملجرام/ لتر ك $CaCo_3$ إلى قريبا من الــصفر للاســتخدام فــى تغذية الغلاية.

ب- ترسيب القشور (**Scale precipitation**)

ترسيب القشور من كربونات الكالسيوم فى الخطوط والمبــادلات الحرايــة كــان مؤكدا حتى فى حالة استخدام المياه الخامة فى مــرة واحــدة (One Through). منــع حدوث الترسيبات سيكون صعبا وخاصة فى حالة تركيز المياه فى برج التبريد بمعامل 3 كما هو مخطط اصلا.

ج- مشاكل التآكل والبكتريا:

وجود الأكسجين المذاب والحديد فى الماء عند رأس بئر الإنتاج أظهرت أن تآكل طلمبة البئر والمواسير سيكون حاداً والتراكم البكتيرى (Fouling) محتمل.

تم استخدام مصدر مياه سطحى بديل والتغاضى عن هذا المصدر

العينة رقم (2) ، (3) ، (4):

وهذه كانت تحاليل للمياه من عملية فيض المياه. عينة مياه البحر رقــم (2) تــم حقنها فى خزان إنتاج البترول المحتوى على مياه فى التربة الحاملة للخزان بالمكونات الموضحه فى العينة رقم (3). والعينة رقم (4) كانت عينة الماء المنتجــة مــن بئــر الزيت.

مياه البحر التى تستخدم فى عملية الفيض (Flooding) كانت تحتوى على أكسجين مذاب ولذلك اعتبرت انها عدوانية. مصمموا معــدات ميــاه الفــيض (water Flood) وضعوا إنشاء برح لتجريد الغاز وذلك لإزالة الأكسيجين حتى مستوى 0.2 ملجــرام` لتر واستخدام مادة السلفيت لخفض الأكسجين المتبقى إلى اقل من 0.05 ملجرام` لتر (السلفيت $-^{''}So_3$) . الحسابات التى تم عملها بتحليل المياه من نتائج التحاليــل فقــط،

أظهرت أنه أثناء عملية تجريد الغاز (Gas Stripping) لإزالة الأكسجين فإن قلوية مياه البحر سوف تزداد وان الرقم الهيدروجيني سوف يرتفع من الاصلى 7.8 إلى 8.3 أو 8.4 بسبب وجود CO_2 نتيجة تحلل $HCO_3^{'}$. ولكن بعد ذلك ثبت أن الغاز الــذى تــم تجريده (الخالى من الأكسجين) محتويا على 5 جزئ% من CO_2. الرقم الهيــدروجيني لمياه البحر فى حالة اتزان عند 0.14 مليبار (رطل/البوصــه المربــع 0.14 MP or 20.3) مع الغاز المحتوى على 5 جزئ% من CO_2 وجد انه 6.5 وبالتالى فان استعداد ترسيب القشور من $CaCo_3$ كانت سالبة حقيقه. إذا كان قــد اســتخدم ســحب الهــواء بالتفريغ أو التجريد بغاز خالى من CO_2 فان معالجة مياه البحر الخالية من الهواء مــع مثبط ترسيبات قشور كربونات الكالسيوم سيكون مطلوبا.

المحتويات من الأملاح المعدنية فى العينة رقم (2) الموضحة هى العاديــة فــى معظم مياه البحر، ولكن البعض لديه ملوحة كليه أعلا. لاحظ فى التحليل أن القيم غير مدرجة لمكونات معينة مثل البوتاسيوم. حذف قيمة التركيز لايون معين عادة يبــين أن تركيزه لم يتم تعيينه. القيمة صفر للتركيز تبين انه لا يوجد شئ. كذلك يلاحظ انه فى كل التحاليل فان مجموع قيم الملى المكافئ/ لتر (MEQ/L) لكل الكاتأيونات (+) ولكــل الآن ايونات (−) متساويين تمامــا. عنــدما تــم تحليــل العينــات (2)، (3) ، (4)، الكاتأيونات الوحيدة التى تم تعيينها فى المعمل كانت للكالــسيوم والمغنــسيوم. الملــى المكافئ/ لتر (MEQ/ L) لكل من Ca^{++} و Mg^{++} تم طرحهم من اجمالى الملى المكافئ/ لتر لكل الآن ايونات الفرق كان تم تعيينه معمليا ليكون لايون الــصوديوم Na^{+}. مــن حسابات الملى المكافئ/ لتر لــ Na^{+}، فان المليجرام/ اللتر لهــذا يكــون تــم حــسابه كالاتى:

Na^{+} فى شكل ملجرام / لتر = ملى المكافئ/ لتر × 23

(الوزن المكافئ لــ Na^{+})

القيم المحسوبة لـــ ملجرام/ لتر لايون الصوديوم Na^{+} تم رصدها كما هو موضح فى التقرير المعملى. وهذا عمل مقبول وكافى لتحاليل معظم مياه حقول زيت البترول.

العينة رقم (4) تمثل ماء من بئر إنتاج بعد الاختراق لحقن مياه البحــر. مقارنــة المحتوى المعدنى كما هو موضح فى التحاليل يبين أن تركيزات الايونات فى العينــة (4) تقع ما بين ذلك للعينات (2، 3) .ماء الإنتاج (Produced Water) ظهر انه مجرد

خليط من مياه الحقن ومياه التربة الحاملة، وكان المطلوب تعيين النسبه الحجمية لكليهما. حيث أن كل أملاح الكلوريد لكل الكاتأيونات فى الماء مذابة، وان النسبة الحجمية لمياه البحر التى تم حقنها ومياه التربة الحاملة اللازمة لانتاج التكوين لمياه الإنتاج تم حسابها من محتوى الكلوريد لكل المياه الثلاث كالاتى:

$$\text{نسبة الحجم\% لمياه التربة الحاملة} = \frac{(CL_{\text{الإنتاج}} - CL_{\text{الحقن}}) \times 100}{(CL_{\text{التربة الحاملة}} - CL_{\text{الحقن}})}$$

حيث:

CL الإنتاج = ملجرام/ لتر CL فى المياه المنتجة.

CL التربة الحاملة = ملجرام/ لتر CL فى مياه التربة الحاملة.

CL الحقن = ملجرام/ لتر CL فى مياه الحقن.

الحساب:

النسبة الحجمية لمياه التربة الحاملة (Vol % Connate Water)

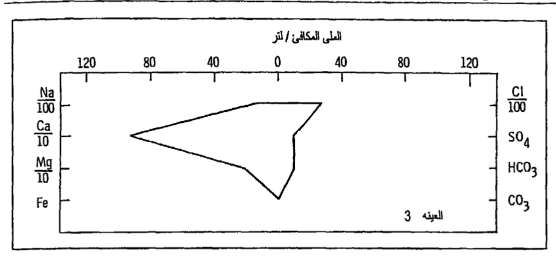
فى المياه المنتجة.

$$= \frac{100x(1900 - 7500)}{(1900 - 89400)} = \%80$$

النسبة المئوية للحقن فى مياه الإنتاج = 100 – 80 = 20%

10 – مخطط توقيع بيانات تحليل المياه:

فى الأمثلة التى تم مناقشتها، العينة (4) (لمياه الإنتاج) بدت كأنها خليط من مياه الحقن ومياه التربة الحاملة. هذا الانطباع ناتج من المقارنة البصرية لتركيزات الايونات المنفردة فى الثلاث تقارير لتحليل المياه. لتكون هذه المقارنة أكثر سهولة تم تطوير العديد من الطرق لتحويل بيانات التحليل الرقمى إلى المخطط الذى يكون اطارات هندسية واضحة لكل نوع منفصل من المياه. الشكل (2/4) يوضح احد اطر التحليل للمياه للعنية رقم (3) (مياه التربة الحاملة). فى هذا المثال الملى المكافئ لتر لكل ايون فى تقرير التحليل للعنية (3) تم قسمته على 1، 10، أو 100 وتم توقيع النتائج على الجانب الايسر للمخطط كما هو واضح فى الشكل (2/4). لاحظ ان كل قيم الكاتأيون موقعه على الجانب الايسر للمخطط وكل قيم الآن ايون موقعه على الجانب الأيمن للمخطط. حيث تبين تحاليل المياه صفر أو لا قيم.

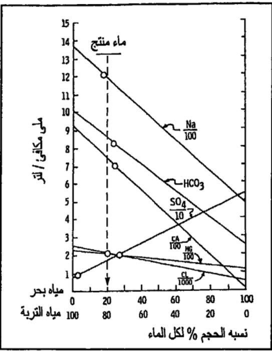


شكل (2/4) مثال لاطار تحليل المياه

للتركيز للايونات مثل Fe^{++} و CO_3^{--}، فهذه تم توقيعها كصفر لاكمال الاطار العام للتوقيع. التدريج الافقى العلوى يمكن تغييره عند الضرورة لتغطية المجال المطلوب لتركيزات الايون. ولكن التدريج يجب أن يكون نفسه لكل المياه لمقارنتها. على العكس، كثيرا من تحاليل المياه المعملية تستخدم ملجرام/ لتر لتركيزات الايونات بدلا من الملى المكافئ/ لتر والتدريج العلوى يكون لوغاريتمى مثلا 10، 100، 1000، 10000 ملجرام` لتر.

إذا تم توقيع بيانات تحليل المياه للعينات (3) ، (4) تماما كما هو موضح للعينة (3) فى الشكل (4)، فان الاطر الثلاث يمكن وضعهم جنبا إلى جنب ومقارنتهم بصريا. نظرا لان تركيزات الايون للمياه الثلاث كلها مختلفة، فان الاطر الثلاث ستكون مختلفة حيث يمكن القدرة على رؤية أن العينة (4) يحتمل خليط من العنيات (2) ، (3). سيكون واضح ومؤكد أن مياه الإنتاج (العينة 4) ليست 100% مياه التربة الحاملة أو 100% مياه الحقن.

لمقارنة تحاليل المياه حيث يوجد سبب للاعتقاد أن ماء واحد هو خليط من اثنين أو ثلاث مياه مختلفة، فإنه يوصى باستخدام طريقة توقيع المخطط الموضح فى الشكل (2/5). لهذا المثال، تم اختبار تدريج تقريبى للملى المكافئ` لتر كما هو موضح فى الجانب الأيسر للشكل . نفس قيم التركيز تستخدم للتدريج الرأسى على الجانب الأيمن ولكن الأرقام غير موضحة على المخطط.



شكل (2/5) توقيع لتحلّيل الماء

التدريج السفلى للمخطط تم تنظيمه لبيان مياه البحر من صفر إلـى 100% فـى اتجاه واحد ومياه التربة الحاملة من صفر إلى 100% فى الاتجاه المعاكس. النقط على طول التدريج الرأسى تم توقيعها لتمثيل الملى المكافئ/ لتر لكل ايون فى تحليل ميـاه التربة الحاملة العينة (3). قيم التركيز بالملى المكافئ/ لتر من تحاليل الميـاه تـم أولا قسمتها على 1، 10، 100 لتكون هذه القيم ملائمة ومتوافقة على التدريج المختار كما هو موضح. نفس التقسيمات تم استخدامها لتوقيع الملى المكافئ/ لتر لكل ايون فى ماء البحر على التدريج الأيمن الرأسى. خطوط الربط الموصلة لتركيزات كل ايون علـى التدريجين الرأسيين تمثل كل المخاليط الممكنه لمياه البحر ومياه التربة الحاملة. بعـد التركيز لكل ايون الذى اظهره التحليل لمياه الإنتاج على خطوط الربط المناسبة ورسم أفضل احداثى راسى ملائم، فان النسبة الحجمية لكلا نوعى المياه الأصلية فى خلـيط مياه الإنتاج تم رؤيتها بسرعة. نتائج الطريقة التخطيطية تتطابق مع نسب مياه البحـر ومياه التربة الحاملة التى تم حسابها من محتواها من الكلوريد فقط. لاحـظ كـذلك أن تركيز "SO_4 فى المياه المنتجة كان اقل كثيرا عما كان متوقعا. هذه الملاحظـة تبـين احتمال مشكله قشور $CaSO_4$ وترسيبات $CaSO_4$ وجدت فى طلمبة بئر الإنتاج. طريقـة

التوقيع هذه لبيانات تحليل المياه أفادت كذلك فى اغراض أخرى. فى احـد الحـالات، فمثلا، توزيع الايون فى مياه الإنتاج من بئر إنتاج معين لا تتطابق مع اى تجميع لمياه الحقن ومياه التربة الحاملة الأصلية. بيانات نقط التوقيع لمياه الإنتاج على مخطط يشبه ذلك فى الشكل (2/5) كانت مشتته بطريقة متسعة، وكان هناك استنتاج احتمال وجود مياه غريبه غير معروفة. الأبحاث التالية اكتشفت أن ثقب حدث به تآكل خلال القيسون ابئر الإنتاج هذا، وان الماء من المنطقة العليا كان يتسرب إلى البئر. تسرب القيـسون تم تحديده وإصلاحه.

الفصل الثاني

القشور المعدنية وتوافق المياه

Mineral Scales And Water Compatibility

مقدمة:

كلمة قشور تستخدم كثيرا لأى راسب صلب تكون على المعدة فى وجود الماء. بهذا التعريف فان القشور المرسبة (Scale Deposits) فى عمليات إنتاج الزيت يمكن أن تكون نواتج عدوانية (Corrosive) (مثل كبريتيد الحديد، كربونات الحديد، اكاسيد الحديد) أو قشور معدنية التى تترسب مباشرة من الماء.

يجب ملاحظة أن نواتج التآكل، المواد البكتيرية، والزيوت الثقيلة ودقائق التربة الحاملة عادة تترسب مع القشور المعدنية المترسبه. التكوين المختلط للقشور التى أظهرتها التحاليل المعملية المركبة يمكن أن تكون مضللة وخاصة إذا كان ترسيب القشور فى شكل طبقات. عند اخذ عينات من الرواسب للتحليل المعملى لتعيين مصدرها، فإنه يتم اختيار أجزاء متعددة لكل سمك الراسب وإذا كان المناسب استخدام مقطع من المعدة المرسب عليها القشور ممثلا للواقع.

القشور المعدنية ومشكلة توقع حدوثها:

القشور المعدنية المرتبطة غالبا بعمليات إنتاج البترول والغاز موضحة فى الجدول (1). كذلك مجالات الإذابة فى الماء موضحة للمقارنة.

جدول (2/5) القشور العادية فى حقول البترول:

المكونات	الإذابة فى الماء ملجرام/ لتر
كبريتات الكالسيوم ($CaSo_4$)	6000 – 1500
كبريتات الاسترنشيوم ($SrSo_4$)	600 – 300
كربونات الكالسيوم ($Caso_3$)	80 – 10
كبريتات الباريوم $BaSo_4$	60 – 3

▪ عند درجة الحرارة والضغط الجوى.

- كبريتات الكالسيوم ترسب فى أحد الأشكال الآتية $CaSo_4.\ 2H_2O$ (الجبس) المائى.

$CaSo4.\ \frac{1}{2}\ H_2O$ الشبة مائى

$Caso_4$ اللامائى

تزداد اذابة $CaCo_3$ بنسبة تركيز CO_2 المذاب فى الماء. قشور كربونات الكالسيوم يحتمل أن تكون أكثر الانواع وجودا، ولكن الجبس $CaSo_4.\ 2H_2O$ يتصادف وجوده احيانا. حدوث كبريتات الباريوم اقل انتشار مقارنة بقشور الكالسيوم ولكنه مشكلة خطيرة فى اماكن كثيرة. كلا من $BaSo_4$ و $SrSo_4$ وجدا فى مرات عديدة بعد استخدام الطفو بمياه البحر فىالحقول الجديدة نسبيا فى بحر الشمال وفى خليج السويس. ترسيب القشور بمخلوطات من $CaSo_4$ ، $SrSo_4$ تم التعرف عليهم كمشاكل حادة فى اجزاء من حقول غوار الضخمة فى السعودية وذلك عند حقن مياه البحر. الإذابة المحدودة هى السبب لتكوين القشور التى ترسب والتى تقلل من انتاجية البئر وتعمل على قفل المسام والطلمبات والمحابس وخطوط التدفق.

الإذابة أو كمية المادة القشرية التى يمكن أن تعلق فى مخلوط الماء تتأثر بالحرارة، الضغط ، تركيز ايونات أخرى والغازات المذابة. الحساب المدقق لإذابة القشور فى اى مياه معينة تحت ظروف مختلفة هو عمل رهيب ولذلك فقد تم عمل برامج كمبيوتر معقدة لهذا الغرض. يمكن استخدام طرق بسيطة للتطبيقات العملية. والتى سيتم مناقشتها لاحقا.

عند معرفة كلا من الإذابة والتركيز لمكونات معينة للماء، فإنه يمكن حساب قيمة الاستعداد لترسيب القشور أو مؤشر القشور (Scale Index) واختصاره SI ويسمى كذلك مخطط التشبع (Saturation Index).

مخطط القشور (SI) = التركيز – تركيز اتزان الإذابة

القيمة الموجبة لمخطط القشور SI يبن امكان ترسيب قشور لأن تركيز مادة الشقور يزيد من اذابتها. الرقم السالب لمخطط القشور (Negative- SI) ينتج عندما تزيد الإذابة عن التركيز. قيمة SI المحسوبة ليست كمية بالنسبة لكربونات الكالسيوم ($CaCo_3$)، ولكن معظم الحسابات التقديرية لكبريتات الكالسيوم $CaSo_4$ تبين كمية اجمالى القشور التى يمكن أن تتكون. ليس من بين طرق الحسابات العاية لمخطط

القشور الذى يوفر معلومات عن معدل الترسيب ولا ما إذا كان سينتج راسب ملتصق (Adherent Deposit).

وللتوضيح وليس بهدف التعقيد، الحاسبات التقديرية للقشور يجب أن تستخدم البيانات عن تحليل المياه والتى عادة لا تكون مطابقة للواقع. فمثلا، عينة ماء جمعت عند رأس البئر يمكن أن يكون حدث لها فقد جزئ لايونات الباريوم، الاسترنشيوم، الكالسيوم، الكبريتات والكربونات نتيجة ترسيب القشور أسفل فتحة البئر. فقد اضافى يمكن أن يحدث فى زجاجة العينة قبل التحاليل.

3- الإذابة، فوق التشبع والترسيب

Solibility، Supersturation And Deposition

معظم المياه فى حالتها الطبيعية مثل مياه البحر، المياه الجوفية، مياه تكوينات التربة الحاملة للزيت تكون فى حالة اتزان بالنسبة لمكوناتها المعدنية المذابة. فحالة الاتزان لإذابة المعادن تعنى ببساطة أن معدل إذابة مادة معدنية معينة ملتصقة بالمياه، هى تتزن تماما مع معدل إعادة الترسيب لهذه المادة المعدنية. فمثلا فى حالة مياه التربة الحاملة الملتصقة لمدة طويلة مع بللورات كبريتات الكالسيوم اللامائية والحجر الجيرى ($CaCo_3$) فى الصخر فإنه سوف تحتوى على بعض التركيز الثابت من ايونات Ca^{++}، $So^{``}_4$، $Co^{``}_3$. هذا بالاضافة إلى وجود مستويات معينه من تركيز Na^+، Mg^+، $Cl^`$ فى المحلول وعموما كميات أقل من K^+، Fe^{++}، Ba^{++}، Sr^{++}، Sio_2 والمعادن النادرة (لا تشكل أكثر من 1% من الخام)

الغازات المذابة مثل Co_2، H_2S والهيدروكربونات الخفيفة تكون عادة موجودة فى المياه الجوفية وفى مياه التكوينات الحاملة.الهواء المذاب (أساسا الأكسجين والنيتروجين) هو المكون الرئيسي فى المياه السطحية من الغازات.

(1) توفر الإذابة (2) وجود ايونات أخرى وغازات مذابة (3) الظروف الطبيعية اساسا درجة الحرارة والضغط ولكن حركة المياه يمكن أن تكون هامة. بمعنى آخر الإذابة ليست قيمة محددة ويمكن أن تتغير كثيرا حتى بالنسبة للمواد قليلة الذوبان الموضحة فى الجدول (1).

عند تشبع الماء بالمادة المكونة لترسيبات القشور تحت ظروف الاتزان فانه يمكن أن يحدث تغير فى هذه الحالة إما أن يزيد أو يقلل من الإذابة أو يحفز الإذابة أو بسبب زيادة فى إذابة المادة.

تحدث الترسيبات عندما يزيد التركيز عن الإذابة فى الظروف الجديدة. الترسيب للتخلص من التركيز الزائد طبيعى لا يحدث فى الحال ومحلول الماء يمكن أن يقاوم فى حالة زيادة التشبع (Super Saturation) لفترة زمنية طويلة. وهذا حقيقى بالتحديد بالنسبة لقشور الكبريتات للكاسيوم، الباريوم، والاسترنشيوم. يمثل زيادة التشبع لكمية المادة المكونة للقشور الزائدة عن الإذابة ولذلك تكون متاحة للترسيب.

حتى بعد بدء الترسيب، فانه جزء قليل فقط من بللورات القشور الجديدة يلتصق بالصخر أو أسطح المعدن مكونا ترسيبات صلبة متراكمة.

آليات ترسيب القشور تختلف إلى حد ما عن ذلك للترسيب العادى. من المنطقى توقع ترسيب القشور يميل إلى التراكم على الأسطح الخشنة وخاصة فى حالة وجود بعض من الرواسب القشرية مسبقا.

سرعة السائل هى كذلك متغير هام نحو ايجاد الرواسب، ولكن التاثير ليس بسيطا أثناء عملية الترسيب فإن البللورات الجديدة للقشور يجب أن تفقد كلا من طبقات مياه التميؤ والشحنة الكهربة السطحية . حركة السائل تنشط كلا هذين التأثيرين بدفع بللورات البداية نحو الأسطح حيث يمكن حدوث فقد الماء، اختفاء الشحنة والدمج يشكل سريع. السرعة العالية كذلك تعمل على حمل الجسيمات الاقل التصاقا تاركه فقط الأكثر كثافة والتى يصعب ازالتها.

كذلك فان السرعة تؤثر على عامل آخر لتنشيط الترسيب وهو تأثير الفتحة الضيقة أو (Orifice Efect). كل القشور المعدنية وكبريتات الباريوم بالتحديد تكون معرضة للترسيب تحت التيار للاختناقات كما فى حالة منتجات القيسون، وممرات الطلبمات واى اختناقات أو انخفاض فى القطر. فى كثير من الحالات يكون الترسيب الكثير فى البئر فقط فى هذه الاماكن. وهذا يمكن أن يعود جزئيا إلى انخفاض الإذابة نتيجة انخفاض الضغط. كل ترسيبات القشور للكبريتات بما فيها كبريتات الباريوم تكون أكثر إذابة إلى حد ما عند الضغط العالى، ولذلك فان انخفاض الضغط هو احد الحالات الطبيعية المسببة للتشبع العالى أو لزيادة التشبع. التاثير الذى له أهمية عملية كبيرة هو التخلص السريع من التشبع الزائد عند الانخفاض المفاجئ فى الضغط عند الفتحات

الضيقة. هذا التاثير يمكن أن يوفر المتسع لمادة الترسيبات القشرية لعمل ترسيبات فى منطقة محدودة عند اسفل التيار لهذا الاختناق.

التوقع المؤكد لكمية ومكان ترسيبات القشور هو مستحيل من الناحيـــة العمليـــة. ولكن المعلومات عن فرصة تكون الشقور تعتبر اساســية وذلــك للتخطـيط المـسبق لعمليات تدوال المياه كمـــا فـــى حالـــة نظـــم التبريـــد أو عمليـــات الطفـــو بالمـــاء .(water Floods)

4- اهمية حسابات توقع حدوث الترسيبات القشرية:

إن عدم القدرة على التقدير الصحيح لاين والى اى حد سوف تتكون الترســيبات القشرية قد يؤدى إلى سؤال وهو ما إذا كانت حسابات الاستعداد للترســيبات تــستحق عملها. احد التطبيقات المفيدة تم تناولها فى البند (2) سابقا. فى هذا المثـــال حــسابات الاستعداد لترسيب قشور كربونات الكالسيوم لجهاز تبريد المياه استنتجت حدوث قشور خطيرة حيث اخذ فى الاعتبار تجنب استخدام الماء.

تقدير حدوث قشور الترسيبات له أهمية خاصة فى عمليات حقن الميـــاه. عنـــدما يكون المطلوب هو خلط نوعين أو أكثر من المياه قبل الحقن . فإن العامـــل يجـــب أن يعرف ما إذا كانت ترسيبات القشور الصلبه التى يمكن قد تحدث انسداد فى ابار الحقن الجوفى يمكن تكونيها نتيجة الخلط. يحدث أحيانا أن خليط من المياه المتنافرة والغيـــر متماذجة يكون مكونا للقشور حتى عند ما يكون كل نوع من هذه المياه غيـــر مكـــون للقشور. هذا الوضع يمكن كذلك أن يحدث عندما يكون نوع واحد من المياه المتنـــافره مع مياه التكوينات فى التربة الحاملة يتم استخدامها للطفو، فمياه البحر (مثال رقـــم 2) ومياه التكوينات (مثل رقم 3) الموضحين فى الجدول (6) وتم مناقشتها فى البنـــد (2) منفردا لهم استعداد قليل أو لا استعداد لترسيب قشور ($CaSo_4$). ولكن، خليط من نوعى المياه يصبح شديد التشبع بكبريتات الكالسيوم ($CaSo_4$) والجبس ($CaSo_4 . 2H_2O$) حيث تتكون الترسيبات القشرية فى وحول ابار الإنتاج بعد الاختراق لمياه البحر. المـــشكلة والنتائج المترتبه على عدم التوافق والتنافر للمياه سيتم مناقشتها لاحقا فى هذا الفصل.

طرق عمل الحسابات لتقدير حدوث الترسيبات القشرية المبنيه على مكونات الماء سيتم توضيحها. ذلك مع التأكيد على الارشادات العملية عن حالات تنشيط الترســيبات

وطرق عمل الحسابات التى تمكن الفنى الذى يعمل فى الموقع من استخدامها بدون معرفة تفصيلية عن الكيمياء الطبيعية المتعلقة بالوضع.

5- تقدير الترسيبات لكربونات الكالسيوم

(Prediction Of $CaCo_3$ Scaling)

تعتبر معادلة لانجيلير (langelier) هى الأساس العادى لحسابات تقدير حدوث ترسيبات قشور كربونات الكالسيوم ($CaCo_3$) . قيمة (PHs) اى الرقم الهيدروجيني للتشبع التام بكربونات الكالسيوم يوضح بالمعادلة التالية:

$$PHs = (PK'_2 - PK'_s) - Pca^{++} - PAlk$$

حيث:

كلا من $PK'_2 - PK'_s$ هو ثوابت، Pca^{++} هي اللرغاريتم السالب لتركيز ايون الكالسيوم بالجزئ فى اللتر.

PAlk هى اللوغاريتم السالب للقلوية الكلية مقيمة بالمكافئات فى اللتر. نظر الآن المواد الصلبه المذابة العالية (اكبر من 5000 ملجرام/ لتر) لها تأثير على صلاحية مؤشر لانجلير، فقد قام كلا من (Stiff Davis) بتبسيط الحسابات التقديرية للاستخدام فى مجال حقول البترول فى المياه المالحة. بالطريقة الآتية:

$$Phs = PCa + PAlk + K$$

حيث K = ثابت وقيمته تعتمد على الأملاح المذابة ودرجة الحرارة للحسابات بالنسبة التأثيرات المختلفة لمختلف الايونات المذابة على قيمة (K)، فانه يتم أولا تحويل معظم الايونات الموضحة بتحليل المياه إلى قاعدة عامة تسمى القوة الايونية (Ionic Strength) الجدول (2) يوضح عوامل التحويل لتركيزات الايون المستقل (من تحاليل المياه) إلى القوة الايونية. قيم القوى الايونية المنفردة يتم عندئذ جمعها للحصول على اجمالى القوة الايونية لهذا الماء. اجمالى القوة الايونية (والتى هى مجموع القوى الايونية لكل الايونات) يتم عندئذ استخدامها فى المخطط الموضح فى الشكل (2/5) للحصول على قيمة (K) عند درجات الحرارة المختلفة. قيم كلا من PCa، PAlk يتم الحصول عليها من الشكل (2/6) باستخدام ملجرام` لتر لايون الكالسيوم Ca^{++} لقيمة PCa ومجموع الملجرام/ لتر لـ HCo_3، CO^-_3 لقيمة PCa ومجموع الملجرام/ لتر لـ HCo'_3، و CO^-_3 لقيمة PAlk.

جدول (2/6) معاملات تحويل تركيز الايون إلى قوة ايونية منفردة.

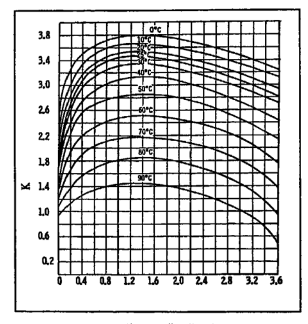
الايون	ملجرام/ لتر	ملى مكافئ/لتر
Na^{++}	2.2×10^{-5}	5×10^{-4}
Ca^{++}	5×10^{-5}	1×10^{-3}
Mg^{++}	8.2×10^{-5}	1×10^{-3}
$Cl^{`}$	1.4×10^{-5}	5×10^{-4}
$So_4^{''}$	2.1×10^{-5}	1×10^{-3}
HCO_3	0.8×10^{-5}	5×10^{-4}
قيمة التركيز من نتائج تحاليل المياه يتم ضربها فى المعاملات الموضحة للحصول على القوة الايونية.		

القيم التى يتم الحصول عليها كما تم شرحه يتم تعويضها فى معادلة لانجلييـر للحصول على مخطط قشور الترسيبات كالاتى:

مؤشر التشبع SI = الرقم الهيدروجيني – PHs (الرقم الهيدروجيني للتشبع)

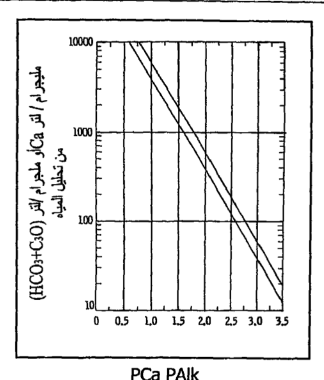
اى SI = PH – PHs

أو = PH- (PCa+ PAlk+ K)



اجمالى التركيز الايونى

شكل (2/5) قيم K عند مختلف التركيزات الايونية



PCa PAlk

شكل (2/6) مخطط لتحويل تركيزات Ca^{+}، $(HCO_3 + CO_3)$ إلى PCa، PAlk

قيمة مخطط التشبه (SI) يمكن أن تكون سالبة وذلك عندما تكون PHs اكبر من قيمة PH أن تكون صفر أو رقم موجب. القيمة السالبة لمخطط التشبع (SI) تبين أن الماء كما هو موضح من التحليل الكيمائى سوف لا يرسب $CaCO_3$ عند درجة حرارة عمل الحساب. قمية (SI) الموجبة تبين أن الماء عالى التشبع (Super Saturated) بالنسبة لكربونات الكالسيوم $CaCO_3$ واحتمال حدوث ترسيبات القشور ممكن. مثال للحساب سيتم تناوله فيما بعد.

الاعتماد على حساب مؤشر التشبع (SI) لتقدير قشور كربونات الكالسيوم يمكن أن يتم تحسينه عند تعيين كلا من (PH) الرقم الهيدروجيني والقلوية (Alkalinity) فى الحال بعد جمع عينه المياه فى الموقع. فى حالات نادرة، يتم جمع عينه الماء فى وعاد ضغط (لتجنب الفقد للغازات المذابة) ونقلها إلى المعمل للتحليل. من الناحية العملية حسابات تقدير ترسيبات القشور يجب عادة أن تعتمد على عينات محفوظة لمدة طويلة (Aged).

الرقم الهيدروجيني الموضح بتقرير تحليل المياه يمكن أن يكون حتى واحد أو أعلا عن ذلك للمياه حيث يوجد فى حالة اتزان مع غاز الإنتاج فى حقل الإنتاج. تغير الرقم الهيدروجيني ينتج عن الفقد فى الغاز المذاب وتحويل ايونات البيكربونات

(HCO_3) إلى ايونات الكربونات ($CO_3^{''}$) والذى يزيد من القلوية. كــلا مــن خفــض الضغط والتسخين يساعد على فقد CO_2 وزيادة القلوية.

لقد اظهرت الخبرة أن قشور $CaCo_3$ الاحتمال الأكثر لحدوثها فى نظم مياه حقول البترول (عند الضغط المنخفض) عند احتواء الغاز المنتج (الموجود اصلا فى المــاء) على أكثر من 2% جزئ% من CO_2. عند معرفة مكونات كلا من الغاز والماء فانــه يمكن العودة بحساب (Back Calculation) الرقم الهيدروجيني الاصلى فى الظــروف الحقلية. كما توجد برامج كمبيوتر لهذا الغرض.

وعند عدم توفر برنامج الكمبيوتر أو أن استخدام طريقة الحساب المتقدمــة غيــر مجدية، فان الطريقة البسيطة الآتية يمكن استخدامها لتعيين القيمــة التقريبيــة للــرقم الهيدروجيني للنظام (PH).

الخطوة الأولى

حساب النسبة (R)

$$R = \frac{0.82 \times HCo''_3 \text{ ملجرام/ لتر}}{Sf \times MCO_2}$$

حيث:

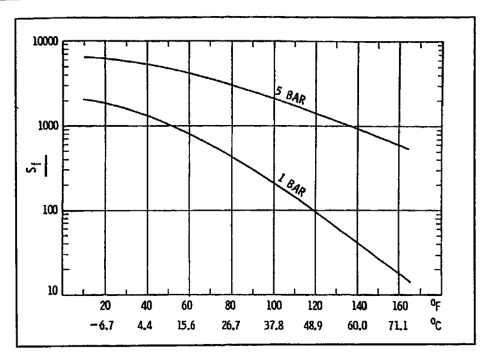
MCO_2 = نسبة جزيئات CO_2 فى الغاز.

Sf = معامل إذابة CO_2 عند درجات الحرارة المختلفة والضغط الكلى من الــشكل (3/7)

الخطوة رقم (2):

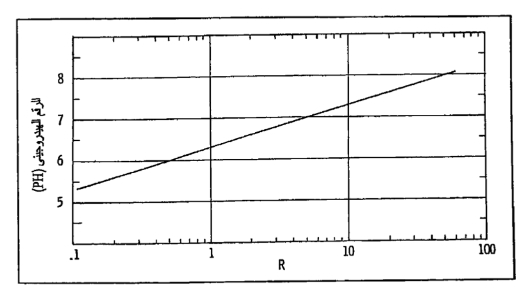
اقرأ حالة الاتزان للرقم الهيدروجيني (PH) من الشكل (2/8) لقيم (R) التــى تــم حسابها فى الخطوة رقم (1)

استخدام (PH) التى تم حسابها بدلا من (PH) تحاليل المياه فــى حــساب مؤشــر التشبع (SI) عادة يحسن من الاعتماد على تقديرات ترسيبات قشور $CaCo_3$



شكل (2/7) قيم (S_1) عند درجات الحرارة المختلفة و الضغط

1Bar= 1 جوى = 14.5 رطل/ البوصه المربع



شكل (2`8) الرقم الهيدروجيني التقريبى (PH) مقابل (R)

6- ترسيبات قشور الكبريتات: (Sulfate Scales)

ترسيب قشور كبريتات الكالسيوم والباريوم والاسترنشيوم يكون عادة بسبب واحد أو أكثر من الحالات الآتية:

أ- الخلط للمياه المتنافرة (Incompatible) والغير متوافقة (المياه ذات المحتوى العالى من الكبريتات مثل مياه البحر المخلوط مع المياه عالية الملوحة (Brines) المحتويه على تركيزات عالية من الكالسيوم، الباريوم، الاسترنشيوم)

ب- خفض الضغط.

ج- التبخر والتركيز للمياه عالية الملوحة بتبخير الغاز فى فتحات البئر أو بالتسخين فى المعدة السطحية.

د- التغير فى درجة الحرارة.

مثال للحالة (أ)، تركيز قشور الكبريتات الزائدة عن الإذابة ينتج عندما تكون المياه باكثر من 10 ملى مكافئ/اللتر محتوى الكبريتات مخلوطة بمياه مختلفة محتوية على تركيزات عالية (أكثر من 900 ملى مكافئ/ اللتر)من الكالسيوم والاسترنشيوم، أو اساسا اى كمية من الباريوم. الزائد من التركيز عن الإذابة يترسب كقشور لإعادة الاتزان إلى المحلول.

إذابة الماء لكبريتات الكالسيوم (الغير مائية) عند 100° م تنخفض من حوالى 2100 ملجرام/لتر عند 1000 ضغط جوى (14500 رطل على البوصة المربعة) إلى حوالى 850 ملجرام/ لتر عند ضغط 100 جوى (1450 رطل على البوصة المربعة). إذابة كبريتات الباريوم $BaSo_4$ وكبريتات الاسترنشيوم $SrSo_4$ تنخفض كذلك مع انخفاض الضغط. تأثير الضغط يمكن أن يحول إذابة املاح الكبريتات بدرجة كافية ليصبح محلول الماء المشبع عالى التشبع (Supersalurated). هذا الموقف يمكن أن يحدث عند وصول مياه تكونيات التربة إلى فتحة البئر، كمثال. ولكن ليس من المحتمل أن الفقد فى الضغط وحده يمكن أن يكون السبب فى الترسيبات الكثيفة للقشور التى تحدث عادة فى الابار المنتجة من خزانات ذات ضغط منخفض (اكبر من 35 جوى أو 5000 رطل/ البوصة المربعة). كما سبق مناقشته الفقد فى الضغط عند الفتحات الضيقة وما يشبه ذلك من اختناقات يمكن أن تساعد التحرر السريع من التشبع الزائد وبالتالى ترسيب القشور. فى معظم حالات الترسيبات الحادة، يكون التشبع الزائد نتيجة

الخلط السابق للمياه الغير متوافقة والمتنافرة (Incompatible) والخفض فى الضغط من المحتمل أن يساهم فى تعجيل الترسيب.

إذابة كبريتات الكالسيوم تنخفض مع زيادة درجة الحرارة عند حد معين. إذابة كبريتات الكالسيوم (الجبس) فى الماء النقى عند 40° م هى حوالى 1.5 ضعف الإذابة عند 100 °م. عادة تتكون كميات كبيرة من قشور كبريتات الكالسيوم فى اوانى معالجة المستحلب وخاصة عند خلط الإنتاج من تكونيات مختلفة. فى معظم الحالات الحادة، تكون المعدلات العالية لترسيبات القشور هى النتيجة المشتركة لكل من الخلط للمياه المتنافرة وتأثير درجة الحرارة على إذابة $CaSO_4$. مقارنة بكبريتات الكالسيوم، فان إذابة كبريتات الباريوم والاسترنشيوم تكون عند أعلاها عند درجات الحرارة العالية وتنخفض مع التبريد. النتيجة هى أن مياه التكوينات عند درجة حرارة الخزان الجوفى مع هذه الأملاح يمكن أن يكون ترسيبات قشور مع برودة مياه الإنتاج فى البئر أو المعدة السطحية. ولكن التشبع الزائد الناتج عند الخلط للمياه المختلفة من المحتمل كثيرا أن يسبب ترسيبات ثقيلة أكثر من حالة انخفاض درجة الحرارة فقط.

7- حساب الاذابات لقشور الكبريتات:

طرق حساب إذابة كبريتات الكالسيوم عند درجات الحرارة المختلفة وهذه تم تطويرها بواسطة عديد من العلماء، وكذلك تم نشر العديد من الابحاث عن خواص الإذابة لكبريتات الباريوم والاسترنشيوم.

8- التقدير العملى لاذابة كبريتات الكالسيوم مباشرة من تحليل الماء.

طريقة الحساب الموضحة هنا تم استحداثها للتصميمات المستخدمة اساسا للاستخدام بوساطة العاملين فى مواقع الإنتاج والذين يقوموا بحساب استعداد ترسيب القشور لكبريتات الكالسيوم من آن إلى آخر أو لعدد محدود من المياه أو خليط من المياه فى وقت واحد.

هذه الطريقة أعطت نتائج مرضية لعديد من المياه التى تتراوح ما بين الغير مشبعه إلى المشبعة إلى عالية التشبع بكبريتات الكالسيوم.

الخطوة رقم (1)

يتم دراسة تحليل المياه. فى حالة وجود تركيزات الايونات المذابة فى شكل ملجرام/ لترفقط (أو جزء فى المليون)، يتم تحويلها إلى الملى المكافئ/ لتر والطرق والامثلة التى تم توضيحها سابقا.

تركيز الملى المكافئ/ لتر لكبريتات الكالسيوم فى الماء يساوى عدديا ادنى قيمة ملى المكافئ/ لتر لاى من Ca^{++} أو $So^{``}_4$ الموضح فى سجل التحليل.

$[CaSo_4]$ = Meq/ L of $CaSo_4$ present

الخطوة رقم (2):

لحساب الزيادة فى الايونات العادية، وذلك بطرح أدنى ملى المكافئ/ اللتر لأى من Ca^{++} أو $So^{``}_4$ من الآخر. ويتم تسجيله.

الزيادة فى الايونات العادية = الايونات العادية الزائدة لـ $[CaSo_4]$

الخطوة رقم (3):

أضف الملى المكافئ/ اللتر لـ Na^+ ، Mg^{++} ثم التسجيل.

عدد الجزيئات (NM) = مجموع Na^+ ، Mg^{++} ك ملى المكافئ/ اللتر

الخطوة رقم (4):

احسب $R = \frac{NM}{ECI}$

ECI = الزيادة فى الايونات العادية (Excess Common Ions)

الخطوة رقم (5):

$Ks = [CaSo_4] - R$

التفسيرات

Ks = أو اقل من 6، الماء يكون غير مشبع بكبريتات الكالسيوم عند 60° م. استخدام حساب الإذابة الخطوة (6).

Ks = أو اكبر من 9 الماء يكون عالى التشبع بكبريتات الكالسيوم عند 60° م. استخدام حساب الإذابة الخطوة (7).

ملاحظة: قيم Ks فى المجال من 6 إلى 9 تكون قريبة من التشبع . عندما تكون R اقل من Ks، استخدم خطوة الحساب (7). عندما تكون R اكبر من Ks، $[CaSo_4]$ تكون مساوية تقريبا للاذابة عند 60° م ومؤشر التشبع (SI) لكبريتات الكالسيوم قريبا من الصفر.

الخطوة رقم (6)

بالنسبة للمياه الغير مشبعة (Ks≤ 6) ، احسب. $S_{60} = [CaSo_4] \left(\frac{936}{NM} + \frac{NM}{2808}\right)$

حيث:

S_{60} هى الإذابة التقريبية لكبريتات الكالسيوم ك ملى المكافئ/ اللتر فى الماء عند 60° م والضغط الجوى.

للحصول على قيمة الإذابة عند درجة حرارة أخرى، يتم ضرب قيمة S_{60} فى المعامل التقريبى من الجدول (2/7).

جدول (2/7)

درجة الحرارة		معامل إذابة $CaSo_4$ عند واحد ضغط جوى
م°	فهرنهيت°	
30	86	1.3
40	104	1.15
50	122	1.05
60	140	1.00
70	158	0.95
80	176	0.9
90	194	0.82
100	212	0.75
110	230	0.67
120	248	0.55
130	266	0.47
إذابة كبريتات الكالسيوم عند 60° م تزداد بحوالى 2.3% تقريبا لكل زيادة مقدراها 7 مليار (0.1 رطل/ البوصة المربعة) زيادة فى الضغط أعلا من الضغط الجوى.		

الخطوة رقم (7):

للمياه المشبعة أو عالية التشبع (Ks ≥ 6) احسب

$$M = \frac{R}{[CaSo_4]}$$

حيث عند M < 0.12 احسب S_{60} = 1.2 Ks

عند M ≤ 0.12 احسب S_{60} = 0.68 Ks

للحصول على قيمة الإذابة عند درجات حرارة أخرى اضرب S_{60} فى المعامل التقريبى فى الجدول (2/7)

الخطوة رقم (8):

احسب

SI = [$CaSo_4$] – الإذابة

عندما يكون مؤشر التشبع (SI) رقم سالب (الإذابة [$Caso_4$]) ، القيمة العددية لـ SI هى الملى المكافئ/ اللتر التقريبى لـ $Caso_4$ فان الماء يمكن أن يذيب عند درجة حرارة الحسابات.

عندما يكون مؤشر التشبع SI رقم موجب ([$Caso_4$]) > الإذابة) ، فان القيمة العددية لـ SI هى الملى المكافئ/اللتر التقريبى لقشور كبريتات الكالسيوم فان الماء يمكن أن يرسب عند درجة حرارة الحساب.

ملى المكافئ/لتر $Caso_4$ × 68 = ملجرام/ لتر أو جرام/م^3 لتحويل $Caso_4$ إلى$Caso_4 . 2H_2O$ (الجبس) اضرب التركيز فى 1.68.

ملاحظات:

زيادة الايون العادى (Excess Common Ion) ECI يقلل من إذابة $Caso_4$.

المياه الغير مشبعة عند 60°م يمكن أن تكون مشبعة عند درجات الحرارة الاعلا.

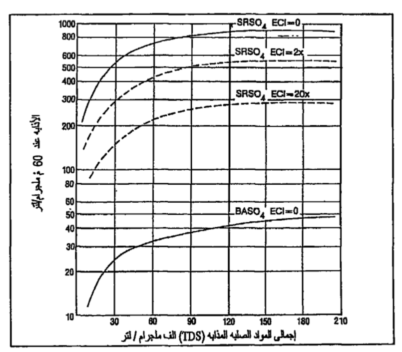
9- ترسيبات قشور الباريوم والاسترنشيوم:

معظم ترسيبات قشور كبريتات الباريوم تحتوى كذلك على بعض كبريتات الاسترنشيوم. حتى قريبا كان ظهور ترسيبات قشور كبريتات الاسترنشيوم فى حقول البترول اساسا فى وجود كبريتات الباريوم. ترسيبات القشور التى هى أساسا كبريتات

الاسترنشيوم معروفة الآن بوجودها فى بحر الشمال، وفى خليج السويس، المملكة العربية السعودية وأماكن عديدة أخرى حول العالم.

كما هو موضح فى الجدول (1) فان كبريتات الاسترنشيوم أكثر إذابة من كبريتات الباريوم ولكنها اقل فى الإذابة بالقيمة لكبريتات الكالسيوم. كلوريد الصوديوم عند تركيزات حتى حوالى 8% بالوزن (80000 ملجرام/ لتر) تزيد إذابة كل قشور الكبريتات. وجود الكالسيوم والمغنسيوم فى المياه عالية الملوحة (Brines) التى تحتوى على الكلوريد كآن أيون رئيسى، من الواضح انها لا تزيد إذابة كبريتات الباريوم والاسترنشيوم. زيادة الايونات العادية (ECI) تقلل من إذابة كبريتات الباريوم والاسترنشيوم. بمثل ما تم تعريفه لكبريتات الكالسيوم ، فان زيادة الايون العادى هى اما زيادة ايونات Ba^{++} أو Sr^{++} عن $SO_4^{=}$ أو زيادة $SO_4^{=}$ عن Ba^{++} أو Sr^{++}، عند التعبير عن التركيز لكل بالملى المكافئ/ اللتر.

الشكل (2/9) يوضح مستوى إذابة كبريتات الباريوم والاسترنشيوم فى المياه عالية الملوحة لحقول البترول.



اجمالى المواد الصلبه المذابة (TDS) الف ملجرام/ لتر

شكل (2/9) الإذابة النسبية لكبريتات الاسترنشيوم وكبريتات الباريوم فى المياه المالحة لحقول الابار عند 60°م

المعلومات مفيدة وخاصة نحو تقدير إمكانيات مشاكل الترسيبات للقشور خاصة فى المياه المخلوطة.

منحينات الإذابة تم استنتاجها بمتوسطات العديد من قيم الإذابة فى المياه المالحة الحقيقية والفرضية ذات الملوحة من 12000 إلى أكثر من 200000 ملجرام/ لتر. فى جميع الحالات مجموع تركيزات ايون Mg^{++} ، Ca^{++} كان اقل من 20% لاجمالى الكاتأيونات وكان ايون الكلور ($CL^{`}$) هو الايون السائد. وقد تطابقت النتائج تمام مع البيانات المنشورة.

المنحيات المهشرة فى الشكل (5) لكبريتات الاسترنشيوم توضح تأثير زيادة الايون العادى. العلامة 2x = ECI أو 20x تعنى الملى المكافئ/ اللتر لزيادة الايون العادى (اما Sr^{++} أو Ca^{++}) ليكون ضعف أو 20 ضعف اكبر من تركيز $SrSo_4$ مقيم بالملى المكافئ/ اللتر. للمقارنة مع بيانات الإذابة مثل تلك للشكل (5)، فان تركيز $SrSo_4$ المأخوذ مباشرة من تحاليل المياه يتساوى عدديا لاقل قيمة (ك ملى المكافئ/ اللتر) لاى من Sr^{++} أو So_4^{++}.

الزيادة الكبيرة فى ايون العادى (عادة So_4^{++}) عن تركيز $SrSo_4$، يقلل من إذابة $SrSo_4$ اقل مما هو موضح فى الشكل (5).

تركيزات زيادة So_4^{++} بمعدل 95 ملى المكافئ/ اللتر تقلل إذابة $SrSo_4$ إلى حوالى 0.2 ملى المكافئ فى المياه عالية الملحوحة المحتوية على 50000 ملجرام/لتر من الأملاح الكلية المذابة. تركيز $SrSo_4$ مقيم ك ملى المكافئ/ اللتر يتم تحويله إلى المليجرام/ اللتر بالضرب فى الوزن المكافئ 91.6.

يتم تعيين تركيز $BaSo_4$ فى الماء أو فى خليط الماء من تحاليل الماء بنفس الطريقة كتلك التى تم شرحها لكبريتات الاسترنشيوم. نظرا لان إذابة $BaSo_4$ منخفضة جدا، فان علامات احتمال ترسيبات $BaSo_4$ يتم تعينها عادة بحساب تحاليل فرضية لخليط من اثنين أو أكثر من المياه بدلا من التحليل الحقيقى.

التكوين الفرضى الاخير لخليط المياه يتم تحديده بسهولة من التحليل للمياه لكل مكون فى الماء . بضرب التركيز لكل ايون مبين فى كل تحليل فى النسبة المئوية للحجم، معبر عنها ككسر عشرى لهذا الماء فى الخيط النهائى. مجموع اجزاء

التركيزات لكل ايون هو التركيز الحقيقى لهذا الايون فى الخليط. مثال لحساب وتعيين مكونات الخليط لنوعين من المياه موضح فى الملحق (أ).

المنحنى السفلى فى الشكل (5) يوضح الإذابة التقريبية لكبريتات الباريوم فى مياه حقول البترول ذات الملوحة العالية حيث زيادة الايونات العادية (ECI) هـــى تقريبـــا صفر. ثانيا، زيادة الايون العادى (عادة So_4'') تقلل من إذابة $BaSo_4$.عند زيادة So_4'' (عن تركيز $BaSo_4$، ك ملى مكافئ/ اللتر) لتكون 10 ملى مكافئ/ اللتر أو أعلا، فان إذابة $BaSo_4$ تكون اقل من 0.05 ملى مكافئ/ اللتر (6 ملجرام/لتر) فى المياه عاليـــة الملوحة ذات أملاح كلية مذابة اقل من 100000 ملجرام/ لتر. ملى مكافئ/ اللتر لـــ $BaSo_4$ مضروبا فى الوزن المكافئ (116.7) هو التركيز معبر عنه بالملجرام/ لتر.

عندما تبين حسابات التحاليل الفرضية لخليط المياه تركيز $BaSo_4$ ســـوف يكـــون أعلا من الإذابة، فان الترسيبات محتمل حدوثها لحين اقتراب التركيز من الإذابة.

ترسيب 1 ملى مكافئ/ اللتر لـــ Ba^{++} يجب كذلك أن يرسب واحد ملى مكـــافئ/ اللتر لـــ So_4'' . الفقد فى So_4'' بالترسيب فى شكل $BaSo_4$ يمكن تقديره لتعيين كميـــة So_4'' المتبقية لترسيب الـــ $SrSo_4$ الاكثر إذابة.

10 – توافق المياه للخلط

Water Compatibility For Mixing

تعبير التوافق كما هو مستخدم هنا يتعلق بالتفاعلات الكيماوية الناتجة عـــن خلـــط نوعين أو أكثر من المياه. إذا كانت المياه متوافقة لا تتكون مواد صلبة جديـــدة عنـــد الخلط. المياه الغير متوافقة تتفاعل لتكوين مواد صلبه جديدة واجمالى المواد الـــصلبه العالقة للخليط تكون اكبر من مجموع أقسام المواد الصلبه العالقة لكل من نوعى المياه على حدة قبل الخلط.

اى من التفاعلات المختلفة يمكن أن ينتج مواد صلبه جديدة. فمثلا جسيمات سلفيد الحديد الغير مذاب أو أكسيد الحديد قد تتكون عندما يتم خلط الميـــاه المحتويـــة علـــى الحديد المذاب مع مياه أخرى محتوية على H_2S أو O_2 مذاب. اى كمية مـــن المـــواد الصلبه الجديدة تضيف إلى حمل المواد الصلبه العالقة الموجودة اصلا ويقلل من نوعية خليط المياه للحقن الجوفى. عموما، المشكلة الخطيرة جدا لعدم التوافق (كميات اكبـــر من المواد الصلبه الجديدة) نتج عند خلط المياه ذات محتوى عالى من الكبريتات So_4''

مع واحد اواكثر من المياه ذات المحتوى العالى من الكالسيوم. مثال للحسابات فى خليط من 20% بالحجم من مياه البحر و 80% بالحجم من مياه التربة الحاملة يكون قادرا على ترسيب 6 ملى مكافئ/ اللتر (408 ملجرام/ لتر) من كبريتات الكالسيوم (أو 685 ملجرام/ لتر من الجبس) عند 60°م. هذه الحقيقة فقط تبين أن كلا نوعى المياه غير متوافقين ولا يتم خلطها قبل الحقن. هذا حقيقى حتى فى حالة عدم تكون رواسب ملتصقه مع استمرار المواد الصلبه الجديدة عالقة ببساطة فى مجرى الماء المخلوط.

11- تعيين التوافقيه

Determination of Compatibility

حسابات ترسيبات القشور المعدنية من تحاليل المياه تساعد فى التعيين المسبق للتوافقيه قبل خلط المياه. مكونات يجب أن يتم كذلك اختبارها بالنسبة لوجود الحديد، كبريتيد الهيدروجين والأكسجين الذى يمكن أن يكون ترسيبات من الحديد. كميات صغيرة للمكونات لأخرى التى يمكن ترسيبها مثل المنجنيز وهذه يمكن كذلك أن تكون موجودة. بالإضافة إلى حسابات ترسيب القشور فان دراسات التوافقية عادة تشمل اختبارات الخلط المعملى للقياس الطبيعى لكميات الترسيبات القشرية الصلبه المتكونة. عينات الماء اللازم خلطها يتم ترشيحها مسبقا كل على حدة لإزالة المواد الصلبه الموجودة . يتم خلط كيمة مقاسه من كل مياه مرشحه فى وعاء مناسب (عادة من الزجاج) لتوفير المجال المتوقع للنسب. اى 75/25 ، 50/50، 25/75 جزء بالحجم. يتم عندئذ تعليق الخليط (قفل) لمدة 24 إلى 48 ساعة عند درجة الحرارة المتوقعه. الترسيبات الثقلية يمكن رؤيتها ولكن يكون من المفضل إعادة الترشيح للماء المخلوط ووزن كمية المواد الصلبه الجديدة . يمكن عمل اختبارات الخلط فى ظروف لا هوائية بوجود النيتروجين لمنع الاكسده والترسيب للحديد. وهذا ليس فى حالة عدم وجود الحديد وتكون الرواسب الأساسية هى من القشور المعدنية.

عدم التوافق وترسيبات القشور فى بئر الإنتاج:

Incompatibility And production Well Scaling

المياه الغير متوافقة لا يتم خلطها قبل الحقن ذلك بسبب احتمال انسداد بئر الحقن. ولكن مياه الحقن التى لا تتوافق مع مياه التربة الحاملة فى المكان (Tonnate Water) تستخدم عادة فى الطفو (Flooding).

الانسداد داخل البئر بسبب عدم توافق المياه ثبت انه ليس مشكلة خطيرة. منطقة الخلط خلال التكوينات الحاملة تكون محدودة واى مواد صلبة التى يمكن أن تتكون تكون موزعة خلال حجم كبير من مسام الصخر بسبب تأخير الترسيب وحركة المياه.

الخلط الكبير أثناء الازاحة المذابة لمياه التكوينات بمياه الحقن لا يحدث عدا فى الشقوق والفتحات فى الصخور. ولكن، مع اقتراب مقدمه الفيض لبئر الإنتاج، فان فرصة الخلط الكبير تزاداد أسيا (Exponentially). فى كثير من الحالات يتشعب ماء الحقن إلى بئر الإنتاج خلال الشقوق أو المناطق ذات النفاذية العالية ويختلط مع مياه التكوينات القريبة من أو فى فتحة البئر. ترسيبات القشور قريبا من فتحة البئر تعتبر خطيرة بالنسبة لانتاجية البئر.

عند معرفة وجود عدم توافقية المياه فى عمليه فيض المياه (Water Flood Operation) ، الاجراء العادى هو بمعالجة بئر الإنتاج بحشر مثبط الترسيبات. معالجة مياه الحقن للتحكم فى ترسيبات القشور عند ابار الإنتاج غير مجدى بسبب الفقد بادمصاص كيماويات المثبط خلال تكوينات التربة.

حتى فى حالة حسابات استعداد حدوث الترسيبات واختبارات الخلط التى تتوقع احتمال حدوث الترسيبات القشرية بعد حقن الماء واختراقه، فان المعالجة بمثيط التآكل لكل ابار الإنتاج عادة يكون غير ضرورى. فى بعض الحقول حيث يوجد عدم التوافق لمياه الطفو، فانه فقط من 50 إلى 60% من المنتجين عانوا من تراكم الترسيبات القشرية لتعليل ازالتها ومعالجات المثبط. بعض العمال يقوموا بوضع عينات اختبار معدنية مثبتة عند راس بئر الإنتاج للكشف المبكر عن علامات تراكم الترسيبات القشرية. هذا النوع من الاختبار عادة لا يمكن الاعتماد عليه، خاصة فى المراحل الأولى للترسيبات. مؤشر آخر لاظهار الترسيبات الخطيرة هو متوسط إنتاج الزيت خلال فترة زمنية من عدة ايام أو عدة اسابيع انخفض بمعدل اسرع من الزيادة الكلية فى إنتاج المياه. عند زيادة إجمالى إنتاج الماء والنسبة الحجمية لمياه الحقن بمعدل سريع نسبيا، فان تكاليف الحد من الترسيبات القشرية بالمعالجة يمكن أن تكون مجدية.

ازالة الترسيبات القشرية: [Scale Removal]

ترسيبات كربونات الكالسيوم ومعظم نواتج التآكل يمكن اذابتها وازالتها بواسطة حامض الهيدروكلوريك يتركز 15%. الرواسب الزيتية يتم عادة معالجتها المسبقة بمذيب البارافين قبل استخدام الحامض. عوامل البلل (Wetting Agents) والكحولات

فى الحامض تزيد من معدل لاذابة للرواسب القشرية الزيتية. عوامل التغليف للحديد (Chelating Agent) مثل حامض الستريك (Citric Acid) ، إديتا (EDTA) تضاف عند وجود نواتج تآكل الحديد. هذه الاضافات تساعد فى منع اعادة الترسيب للحديد المذاب من الحامض المستهلك. أحجام الحامض اللازمة لإزالة القشور المترسبه فى وحول فتحات البئر هى عموما من 10-30% من تلك اللازمة لعملية تنمية البئر.

رواسب كبرتيات الكالسيوم أو الجبس لاتزال بدرجة جيدة عند استخدام معالجة الحامض. هذه تزال من خلال المعالجة على مرحليتين وهذه تتكون من التشبع المسبق للراوسب بمحلول تحول ثم التحميض بحامض الهيدروكلوريك . محاليل التحول تتكون من الصودا الكاوية أو البوتاسا الكاوية (KOH)، الصودا آش (Na_2Co_3) أو بيكربونات الامونيوم وتحول $CaSo_4$ إلى $CaCo_3$ و $Ca(OH)_2$ وهذه مذابة فى الحامض. الأحماض العضوية مثل حامض الهيدروكسى اسيتيك أسيد (جليكوليك أسيد) تستخدم كذلك للتحول عادة مع مادة كاوية (صودا أو بوتاسا كاوية). توجد بعض المذيبات للجبس والتى لا تحتاج إلى الحامض، ولكن عادة يتم الغسيل بالحامض بعد استخدامها.

الرواسب القشرية لكبريتات الباريوم والاسترنشيوم يجب ازالتها بالطريقة الميكانية لأنها لا تزال بالحامض أو بالكيماويات الأخرى.

14- سنبط الرواسب القشرية: (Scale Inhibitor)

الأنواع الثلاث لمثبطات الرواسب المستخدمه عادة هى الكيماويات الآتية:

1- Amino – Phosphonates

2- Phosphate Esters Of amino – Alcohols

3- Sodium Poly acryl ate Polymers

هذه الكيماويات عادة تباع فى شكل محاليل مائية (20- 30% نشاط) الكحولات عادة تضاف لخفض نقطة التجمد ولتعليق المثبط الكيماوى فى المحلول.

تثبيط ابار الإنتاج لتأخير تراكم الترسيبات غالبا يتم بطريقة حقن التكوينات من التربة بحشر محلول المثبط المائى. الاتى بعض من الخطوط الإرشادية العامة لمثل هذه المعالجة.

1- قبل حقن محلول المثبط، يتم السماح لتشغيل البئر فترة طويلة للتخلص من اى حامض مستهلك، محلول المحول أو مذيب الرواسب التى تم استخدامها مسبقا لإزالة الرواسب القشرية الموجودة. حجم المياه المنتجة اللازمة للدفق المفاجئ (Flushing) لا يقل عن ثلاث أضعاف حجم كيماويات ازالة القشور ثم الدفق الاضافى للذى تم حقنه مسبقا. حقن المثبط فى الحال بعد معالجة ازالة الراسب يمكن ان يسبب انسداد حاد وفقد فى الإنتاج.

2- كيماويات مثبط ترسيبات القشور يجب تخفيفها بالماء (التى تذاب فيه) لتركيز نهائى بنسبه 1-2% الحجم. التركيزات العالية لا تعمل على اطالة عمر الحشر مع الفقد الزائد فى الكيماويات عند تكرار العودة المبكرة.

3- تجنب استخدام (Phosphate Ester Base Inhibitors) لحشر التكونيات ذات درجة الحرارة أعلا من 80°م عندما يكون المطلوب فترة عمريه طويلة للحشر.

4- حجم المثبط المخفف يكون كافيا لتوفير 0.2 متر مكعب لمادة المثبط الكيماوية الأصلية لكل 30 متر من سمك تكونيات التربة. وفى المقابل، حجم الكمية المخففة يمكن حسابها بحوالى 1% من إنتاج المياه اليومى، مع ادنى كمية 12 متر مكعب.

5- الحقن بالمعدل البطئ والدفق الزائد مع حجم من الماء أو الزيت يكفى لإزاحة محلول المثبط نحو تكونيات التربة زائد 10% زيادة فى الحجم.

6- قبل وبعد كتلة المثبط الضعيفة مع 0.5 إلى 1 متر مكعب من الزيت الواهن (Pad Oil) المحتوى على الكيماويات المزيلة للاستحلاب السابق اختيارها.

7- عند معالجة التكوينات ذات الحساسية للماء، المحتويه على الطفلة، يضاف 5% بالوزن من كلوريد البوتاسيوم (KCl) أو اى كيماويات أخرى مانعة لانتفاخ الطفلة وتثبيتها والمعروف بتأثيرة قبل حقن محلول المثبط.

المعالجات السطحية لمثبطات الترسيبات القشرية عادة تتم بالتغذية المستمرة والمباشرة للكيماويات. عند الضرورة لتجنب الترسيبات فى المياه عالية الملوحة (Strong Brines)، يمكن التخفيف المسبق للمثبط بمياه ذات ملوحة منخفضة مع زيادة

معدل التغذية نسبيا. معدل التغذية يكون قريبا من التغذية المستمرة ما أمكن. المعـــدل الاخير لمعالجة المثبط (عادة من 2 إلى 10 ملجرام/لتر) يـتم ضـــبطه بالملاحظـــة البصرية لتراكم الترسيبات فى المعدة أو على عينات الاختبار.

التحاليل من آن إلى آخر لرصد تركيزات الايونات المكونة للترسيبات فى المـــاء خلال النظام توفر البيانات عن استمرار الميزان المادى. ولكن، نتائج التحاليل حيـــث يجب عمل التحاليل الاحصائية لها للكشف الموثوق عن التغيـــرات الـــصغيرة نتيجـــة ترسيبات القشور.

الفصل الثالث

الميكروبيولوجى العملية
Practical Microbiology

1- المصطلحات والتقسيم

الكائنات الحية الدقيقة المجهرية موجودة فى كل نظم حقول البترول المائية. يمكن اطلاق التسمية العامة على هذه الكائنات وهى الميكروبات (Microbes). وعادة تسمى البكتريا. من الناحية العملية يكون من الضرورى أن تقسم طبقا للنوع والصنف (Genus And Species). كل نوع يحتوى على كثير من الأصناف. اسم النوع يسبق اسم الصنف مثل.

Desulfovibrio desul furicans

Streptococcus latics

كل جزء من هذه الأسماء العملية له معنى بالنسبة لعلم الميكروبات. فمثلا Vibrio يبين الشكل العصوى المنحنى بينما Streptococcus تعنى كائنات فى شكل سلسلة عنقودية (Chain – like cluster) أو كروية (Coccus). وصف البكتريا المستقيمة فى الشكل العصوى يشمل الكلمة (Bacillus). الاشكال اللولبية تسمى (Spirilla).

الميكروبات يمكن أن تكون اما نباتية أو حيوانية. الكائنات النباتية هى الشائعة جدا ويمكن أن تنقسم إلى أنواع مثل البكتريا، الطحالب، الخمائر، الفطر المسبب للعفن (Molds) .. الخ. الطحالب (Algae) تحتوى على الكلوروفيل الأخضر الذى يمكنها من استخدام طاقة الشمس لتحويل ثانى اكسيد الكربون إلى مركبات عضوية معقدة التى تبنى بها خلاياها، اما الآخرين يمكن أن ينمو بدون ضوء الشمس ويحصلوا على طاقتهم بوسائل أخرى.

فى عمليات إنتاج زيت البترول، أصبح المألوف الإشارة إلى كل أنواع الميكروبات بالبكتريا وتقيمهم طبقا لمتطلبات الأكسجين كالاتى:

- الكائنات الهوائية (Aerobic) وهى التى تحتاج إلى الأكسجين.
- الكائنات اللاهوائية (Anaerobic) والتى يتم تثبيطها عند وجود الأكسجين.

- الكائنات الاختيارية (Facultative) حيث يكون الأكسجين غير مطلوب ولكن معظمها نموه أفضل عند وجود الأكسجين – وعموما يمكن اعتبارها هوائية.

الجدول (1) هو تقسيم عملى لمعظم الكائنات الميكروبية المسببه للمشاكل

جدول (1) الكائنات الموجود فى مياه حقول البترول:

1- البروتوزا: وهى حيوانات صغيرة تعيش فى المياه الملوثه المفتوحة. يمكن التعرف عليها بسهولة مجهريا بسبب حجمها الكبير نسبيا. تعيش البروتوزوا على الكائنات الاصغر ووجودها دلالة على أن المياه بها مستوى عالى من النشاط الميكروبى. يمكن مقاومتها بالمبيدات (Biocides). **2- الطحالب:** (Algae And Diatoms) النباتات التى تنمو فى المياه المفتوحه المضاءه بضوء الشمس شكل (2/10). المعروفة بالغروى الاخضر (Slime) (واحيانا يكون اللون اخضر داكن) على سطح الماء أو على حوائط الخزانات. تقاوم عموما بمركبات النحاس. الزيت وكبريتيد الهيدروجين يعيق النمو. **3- بكتريا الحديد:** (Iron Bacteria) توجد كسلاسل عزوية (Slimy) أو خيوط شكل (2/11). تتكون من خلايا البكتريا محاطة بافراز جلاتينى لأكسيد الحديد. عادية فى مياه الابار الضحلة من الرمال المحتوية على الحديد. يمكن التعرف عليها بالملاحظة الميكروسكوبية بعد إذابة اكسيد الحديد. مقاومتها تتطلب المعالجة الكيماوية للرمال والنظافة بالمنظف الصناعى الحامضى (Detergent Acid) **4- مكونات العفن الجيلاتينى:** (Slime Formers) وهذه مجموعة عامة من البكتريا الهوائية والبكتريا الاختيارية والفطريات (Fungi) المكونة للرواسب الهلامية العفنة بالسمك الكافى لرؤيته والإحساس به. وهذه يمكن مقاومتها بالتخلص من الأكسجين المذاب والمعالجة بالمبيدات (Biocides). **5- البكتريا المنتجة للكبريتيد:**(Sulfide Producing Bacteria) من أهم أنواع هذه هى المختزلة للكبريتات والتى تحول ايون الكبريتات $So_4^{``}$ فى الماء لتكون (H_2S). وهذه البكريتا تتحرك بحرية وغير محبه للاكسجين. يمكن الكشف

عنها بالتجمعات السوداء فى انبوبة عميقة، مجال غذائى من مـــادة الأجـــار [(Agar) والتى هى مادة هلامية تستخلص من الطحالب البحرية] محتويا على املاح، الكبريتات والحديد (Fe^{++}).ونوع آخر المنتج للسلفيد والذى مـــسمى (Clostridium Nigrificants) والذى يحب لدرجات الحرارة المرتفعة (Thermophilic). بكتريا كلوستريديوم تيتـــانى (Clostridium Titani) وهى المسببه لمرض التيتانوس (مرض يسبب تشنج بعـــضلات العنق والفك). وهذه تم عزلها من مياه حقول الزيت وتقاوم بالحد من نمـــو البكتريـــا الهوائية والمعالجة بالمبيدات (Biocides).

6- مؤكسدات الكبريت: (Sulfur Oxidizers)

البكتريا الهوائية التى تؤكسد الكبريت وتنتج حـــامض الكبريتيـــك مـــن انواعهـــا (Thiobacillus ،Beggiatoa). الكائنات تتكاثر فى المجارى المائية المكـــشوفة التـــى تتداول ماء الإنتاج الحامضى وفى التربة القريبة من مصانع الكبريت.

هذه الكائنات يمكن أن تسبب مشاكل التلوث الحامضى كمـــا تعمـــل علـــى تلـــف المنشآت الخرسانية. ازالة ماء الغذاء من الكبريت هى أفـــضل وســـيله لمقامـــة هـــذه البكتريا.

2- متطلبات الغذاء ومصادر الطاقة:

كما هو العادى بالنسبة للاشكال الأخرى لحياة النبات، حيث العناصـــر الأساســـية للغذاء هى النيتروجين، الفسفور، البوتاسيوم، وكميات صغيرة من الأملاح المعدنية مثل المغنسيوم، الكالسيوم، الحديد. يكون مطلوب كذلك مصدر للكربون، وهذا يتراوح مـــا بين ثانى أكسيد الكربون إلى الهيدروكربونات مثل الميثان والأثقل منه.

فى عدم وجود ضوء الشمس، تحصل البكتريا على الطاقة اللازمة للنمو والتكاثر من أنواع مختلفة من التفاعلات الكهروكيمائية بالأكسدة. والاختزال. ربما يكون اهـــم هذه فى عمليات إنتاج البترول هو اختزال ايون الكبريتات SO_4^{--} فى الماء إلـــى H_2S. الآخر هو اكسدة الحديدوز (Fe^{++}) إلى الحديديك (Fe^{+++}).

3- المشاكل المتعلقة بالبكتريا وآلياتها:

المشكلتين الكبيرتين نتيجة نمو البكتريا فى نظم مياه حقول البترول همـــا التآكـــل (Corrosion) ، العفن (Fouling)

أ- اكبر مساعد للبكتريا للتآكل فى نظم حقن المياه هو توالد كبريتيد الهيدروجين (H_2S) فى الماء الذى يكون خالى طبيعيا من الكبريت (اى ليس حامضيا). كبريتيد الهيدروجين الذى يتوالد بفعل البكتريا هو كذلك سبب رئيسى لتاكل خطوط المواسير المدفونه وعلى السطح الخارج لقيسونات البئر. من بين اخطر أنواع البكتريا المختزلة للكبريتات هى بكتريا (Desulfavibrio)، ومساهمتها فى تآكل الصلب هو الضعف. هذا يمكن شرحه بالمعالات الكيماوية البسيطة التالية:

$$SO_4^{--} + 2H^+ + 4H_2 \rightarrow H_2S + 4H_2O \quad (أ)$$

ايون الكبريتات — ايون الهيدروجين — هيدروجين جزئى

$$Fe^{++} + H_2S \rightarrow FeS + 2H^+ \quad و(ب)$$

ايون الحديد — كبريتد الحديد

طبقا للمعادلة (أ) يتم استخدام كلا من ايونات الهيدروجين والهيدرجين الجزيئ بواسطة البكتريا المختزلة للكبريتات لتحويل SO_4'' إلى H_2S. مصدر الهيدروجين الجزئ هو تفاعل الاختزال الكاثودى، واستهلاك الهيدروجين يساعد على استمرار التآكل وذلك بمنع حدوث الاستقطاب الكاثودى. بمعنى آخر المختزلات للكبريتات تسبب التآكل على اسطح الصلب المعرضه للمياه المالحة الخالية من الهواء الجوى بوساطة كلا من إنتاج H_2S ومنع الاستقطاب الكاثودى.

توالد الكبريتيد (Sulfide) ومنع الاستقطاب الكاثودى على اسطح الصلب يمكن كذلك توضيه بالمعالة البديلة.

$$SO_4^{--} + 2H^0 \rightarrow S^{--} + 4H_2O$$

(هيدروجين ذرى)

$$Fe^{++} + S^{--} \rightarrow FeS \quad و$$

الهيدروجين الذرى H^0، المتكون على كاثودات المعدن تستخدم مباشرة لاختزال الكبريت والهيدروجين الجزيئ (H_2) لا تتم اذابته. ويبدو أن هذا هو الاليه الاكثر احتمالا.

. دالتركيز من 2 إلى 20 ملجرام` لتر لكبريتيد الهيدروجين (H_2S) الذى انتجته البكتريا تم اكتشافه فى مياه الحقن الطبيعية الغير حامضية بعد المرور خلال خطوط التدفق من الصلب العارى. وهذا يكفى ليسبب التشقق للصلب عالى القوة.

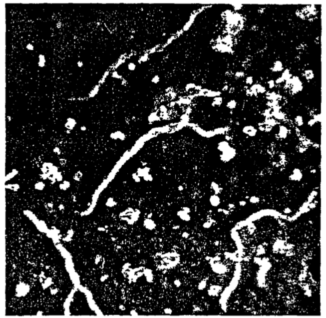
البكتريا المكونة لهلاميات العفن (Slime) [الجدول 1] يمكنها تنشيط التآكل المتبقى فى المعدن فى المياه المالحة الهواه بفعل خلايا اختلاف التهوية .

ب- تراكم الهلام العفن (Fouling) بالتكاثر الكبير للكائنات الدقيقة يقلل من معدل السريان فى المواسير ويساعد على انسداد ابار الحقن. الهلام العفن الذى تنتجه البكتريا بالإضافة إلى نواتج التآكل، الطفل، الرواسب القشرية والمواد الصغيرة الأخرى تكون خليط الذى يمكنه قفل أوجه تكونيات الحقن. النمو الكبير للبكتريا المختزلة للكبريتـــات ينتج ليس فقط تآكل وتآكل نقبى ولكن يمكن أن ينتج كبريتيد حديد فى شكل جـــسيمات الذى يكفى لإتلاف ابار الحقن.

ابار الامداد بالمياه الضحلة المنتجة لمياه منخفضة الملوحة مع اثار من الأكسجين من المكونات الرملية احيانا تصبح مسدودة ببيكتريا الحديد.



شكل (2/10) شعيرات الدياتوم والطحالب



شكل (2/11) شعيرات بكتريا الحديد

4- عادات الوجود والنمو:

لكونها كائنات حية دقيقة فان البكتريا من الصعب توقع أين وإلى أى حد سوف تنمو. تحاليل المياه لا تظهر الاحتمال المحدد للمشاكل الميكروبية فى نظم المياه. فرص العدوى دائما تكون موجودة ولكن مجموعة معقدة من العوامل البيئية هى التى تحدد ما إذا كان سيحدث نمو كبير ام لا.

الاتى بعض الحالات التى تساعد على النمو.

أ- الاحماض المخلوطة فى المحلول حتى 7% بالوزن. بعض الكائنات الدقيقة تتحمل الملوحة العالية ولكن النمو يكون محدودا. خلط مياه الإنتاج المالحة مع المياه العذبة قبل الحقن عادة يساعد على وجود مشاكل بكتيريه. اثار قليله من المواد العضوية يمكن أن تساهم فى هذا الوضع.

ب- الأكسجين يتركز من اجزاء قليلة فى المليون حتى تمام التشبع تحدث مشاكل بكترية حادة من الوجود المتقطع للاكسجين الذى يليه فترات من الانقطاع.

ج- درجة الحرارة ما بين 30 و 55° م: وبعض الكائنات تعيش خارج هذا المجال . النمو بكثره يتوقف عند أكثر من 80° م.

د- انخفاض سرعات التدفق: النمو الكثير يكون عادة على الاسطح. التجمعات تكون لا عنقية اى ليس لها أذناب. تقريبا حالات الركود اسفل الحمأة والراسب فى الخزانات والاحواض تكون ظروف محببه للنمو والتكاثر.

هـ- خليط من تجمعات الكائنات الهوائية واللاهوائية والاختيارية: كثيرا من الكائنات الدقيقة يزداد نموها بالقرب من التجمعات ذات الانواع المختلفة. هذا التأثير يسمى الارتفاق (Symbiosis).

دور الأكسجين المذاب هام وعادة ليس مفهوما بوضوح. العدوى البكتيرية الحادة فى نظم مياه حقول البترول غالبا ما يصاحبها تلوث بآثار الأكسجين، ولو بطريقة متقطعة.

البكتريا المختزلة للكبريتات يمكن أن تعيش اسفل طبقات مكونات العفن (Slime) الهلامى الهوائى فى المياه تامة التهوية. الدليل على ذلك يمكن رؤيته بسرعة فى نظم التدوير لتبريد المياه بعد كشط الترسيبات الهلامية العفنة الكثيفة الهوائية فى مسامير الرباط والدعامات لابراج التبريد، عادة يوجد كبريتيد الهيدروجين الاسود. يتكون كبريتيد الهيدروجين من تآكل الحديد بفعل H_2S الناتج بفعل البكتريا. الشكل (2/11) يوضح الات النمو على سطح المعدن. توجد حالات مشابهة عادة فى خطوط حقن المياه والخزانات حيث يوجد باستمرار اثار الأكسجين أو بجرعات متقطعة بتركيز عالى.

3- تولد كبريتيد الهيدروجين فى خزانات الإنتاج

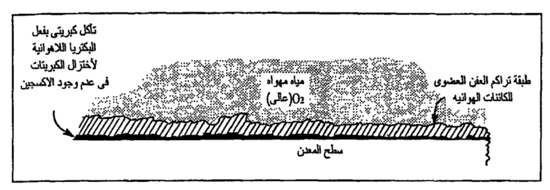
[H_2S Generation In producing Reservoirs)

لقد ثبت من حالات كثيرة حيث إنتاج الزيت والغاز من الخزانات قد تحول إلى الحموضه بعد التنشيط للفيض الثاني للاستعادة بالمياه.

مثال لهذا حقل فى كاليفورنيا حيث استخدام ماء البحر للفيض (Flooding) فى جميع الحالات التى تم تسجيلها حيث حدث هذا كان الإنتاج فى مراحله الأولى خالى من الكبريت (Sweet). ولقد ظهر بدون شك أن الحموضه ناتجه بفعل نشاط البكتريا المختزلة للكبريتات خلال صخور الخزان. ولكن يظل السؤال، ما إذا كانت البكتريا قد دخلت مع مياه الفيض أو انها موجودة خلال التربة.

لقد أثبتت الدراسات أن البكتريا المختزلة للكبريتات يمكن أن تعيش فى خزانات البترول. عمليا، وجود H_2S مدمر بسبب الخفض فى قيمة الزيت والغاز، ضرورة خلو الغاز من الكبريت وزيادة التآكل للمعدات.

دراسات حالة فى اربع حقول فى أمريكا وكندا حيث حدثت المشكلة كشفت على المشابهات الآتية:



شكل (2/11) الحالات اللاهوائية الناتجة على سطح المعدن نتيجة طبقة التغطية من العفن العضوى بفعل البكتريا الهوائية

أ- كانت درجة حرارة الخزانات كلها أقل من 82 ° م. من هذه الملاحظة والمعلومات العامة أن نمو البكتريا يقل عند درجات الحرارة العالية، ظهر أن 80- 82° م هى اقصى مجال لدرجة حرارة الخزان حيث بعدها لا يحدث توالد للكبريتيد.

ب- فى كل الحالات الأربع، مياه الفيض التى تم حقنها احتوت على تركيزات عاليه من ايون الكبريتات مقارنة لمياه التكوينات الحاملة فى الخزانات.

ج- حسابات الميزان المادى (كبريت داخل - كبريت خارج) اظهرت الكفاءة التقليدية لتحويل البكتريا $SO_4^{''}$ إلى H_2S فى المجال من 60 - 70% من هذا، تم رسم العلاقة الآتية:

اقصى تركيز لكبريتيد الهيدروجين H_2S (جزء فى المليون) تم الوصول إليه فى الغاز المنتج = ملجرا/ لتر (أو جزء فى المليون بالوزن) لـ $SO_4^{''}$ فىمياه الفيض × 1.5.

د- بدءا من وقت اول ظهور لكبريتيد الهيدروجين H_2S فى الغاز المنتج، زاد تركيز H_2S إلى الحد الاقصى بمعدل ثابت تقريبا خلال فترة زمنية حوالى خمسة سنوات. من هذا تم رسم العلاقة الآتية:

اقصى معدل زيادة (جزء فى المليو/ العام) لـ H_2S فى الغاز المنتج = اقصى تركيز (محسوبا من تركيز $SO_4^{''}$ فى مياه الفيض× 0.2)

هذه الملاحظات والخطوط الإرشادية يمكــن أن تكــون مفيــدة فـــى حــسابات التصميمات الهندسية ولكن لا يتم اعتبارها مؤكدة . السؤال هو ما إذا كان من الممكن منع حدوث الحموضة فى الخزان بالمعالجة الكيماوية لمياه الطفو عندما تشير الظروف إلى نمو البكتريا. هذا الاتجاه يبدو انه مجدى اقتصاديا بسبب (1) الحجم الكبير لميـــاه الفيض اللازم معالجتها (2) التكاليف العالية لكيماويــات التعقــيم (3) احتمـــال فقــد كيماويات فى الخزان. استخدام مياه فيض ذات محتوى منخفض من الكبريتات يتم اخذه فى الاعتبار ولكن هذا عادة غير عملى.

6- كشف وتقييم النشاط البكتيرى:

يمكن عمل العد المجهرى المباشر للبروتوزوا، بكتريا الحديـد وكائنـــات معينـــة أخرى تم ترشيحها من الماء بواسطة المرشح الغشائى. ولكن العد المباشر للتجمعـــات العامة الهوائية والمختزلة للكبريتات ليس مجديا بالنسبة لمياه حقول البترول.

طرق التحليل المعملى المتقدمة تم تطويرها لنمو وملاحظة البكتريا. ولكن كثيـــرا من الكائنات الدقيقة التى تنمو عشوائيا فى نظم المياه لا يمكن زرعها بطريقة جيدة فى المعمل. بالإضافة إلى أن كل الكائنات الدقيقة لا تنمو على أى مجال واحد للاستنبات. رغم هذه المحددات، فان اختبارات اللوح والاســتنبات (Plate And Culture Tests) هى أفضل المتاح من بين قياس تجمعات معظم الكائنات الحية الدقيقة.

عموما، يتم استنبات البكتريا فى مادة خاضعة لفعل خميـــرة مـــا. والتـــى تـــسمى (Substrate) حيث تستخدم لذلك مادة (Agar) (وهذه مستخلص نباتى له خواص تشبه الجيلاتين) بالإضافة إلى المواد الغذائية الضرورية. مجال الاستنبات يتم حقنه بحجـــم محدد من الماء المطلوب اختياره ثم التحضين لعدة أيام. بعــد اســتنباط اللـــوح تنـــو التجمعات المرئية فى شكل نقاط على الجيل وكل من هذه يفترض انها تكـــاثرت مـــن كائن واحد. بعد عدد تلك النقط (حيث التجمعات البكترية) فان عـــدد الكائنـــات فـــى السنتيمتر المكعب للماء الاصلى يتم تقديره.

البديل، يتم تخفيف الماء الاصلى بسلسه من الانتقالات من أنبوبة إلى أخرى لمجال الاستنبات الذى تم تلقيحه حتى تظهر آخر انبوبة عدم حدوث نمو. الحسابات من عـــدد التخفيفات فى مضاعفات عشرة، تبين عدد المرات التى تم فيها تخفيف الماء إلى النقطة حيث لم يتم انتقال خلايا البكتريا . بعمليه حسابات خلفية بسيطة فان التجمعات الأصلية فى شكل خلايا فى السنتيمتر المربع يمكن تحديدها.

مختلف المعامل تستخدم مختلف مجالات الاستنبات وبعضها بسجل العدد لأنواع معينة.

معامل مختلفة تستخدم مجالات استنبات عديدة وبعضها يسجل عدد لأنواع واجناس معينة. مجال الاستنبات المطور بواسطة معهد البترول الامريكى لاختيار مياه حقول البترول تم توفيره فى زجاجات مصل خاصة للتلقيح فى الموقع وهذه تستخدم عادة بوساطة شركات خدمات حقول البترول.

المتاح من هذا نوعين (1) الاصفر للبكتريا المختزلة للكبريتات (2) رقيق الفيتول الأحمر لاعداد البكتريا الهوائية العامة. تستخدم السرنجات البلاستيك التى استخدمت فى المجال الطبى بعد تعقيمها لحقن مياه الاختبار خلال غطاء مطاطئ على الاناء.

لكل نوع من مجالات الاستنبات، يتم تخفيفها بالتسلسل حتى يكون معامل التخفيف لا يقل عن 10‾. الزجاجة التى تم تلقيحها يتم عندئذ وضعها عند درجة حرارة 25-35°من أو أنه يكون من المفضل خلال 5° م لدرجة حرارة المياه الأصلية للنظام الجارى اختباره . نمو البكتريا فى زجاجات رقيق المختزل للكبريتات يتم تعليمها بتحول المحلول إلى الاسود المرئى. النمو فى رقيق الفينول والرقيق الهواء يعلم بتغير اللون من الأحمر إلى الأصفر والعكارة. أعلا تخفيف فى سلسلة الزجاجات الذى يظهر نمو مؤكد (فى المضاعف) تعرف مجال عد خليه البكتريا فى الماء الاصلى.

تقنيات تخفيف زجاجات الرقيق المتسلسة تكفى للاعتماد عليها وسهلة الاستخدام.

تفسير وقراءة أعداد البكتريا:

القيمة العددية لاعداد البكتريا لا يمكن تفسيرها بدقة. هذه حقيقة ليست فقط للاعداد المتحصل عليها من الاختبار التخفيف الحقلى المتسلسل (4أ) ولكن كذلك لاختبارات العد التى تتم على عينات الماء فى معامل الميكروبيولجى. السبب الاساسى هو أن عدد البكتريا حرة الطفو فى عينات الماء لا يقابل دائما المعدل المطلق لنمو البكتريا على اسطح المعدن فى نظام تداول الماء.

عديد من العوامل لها تأثير على نسبة الخلايا حرة الطفو فى الماء إلى الخلايا المتعلقة بالسطح. ولكن عدد البكتريا حرة الطفو مقابل عدد البكتريا فى الماء، يزداد عموما عند زيادة نسبة نشاط البكتريا فى النظام. وبالتالى فان عد البكتريا مفيد اساسا لاظهار ما إذا كانت هناك زيادة أو نقص أو ثبات فى نشاط البكتريا خلال فترة زمنية (عند نفس نقطة اخذ العينة) وكذلك لاظهار الاختلاف بين نقط اخذ العينات. العد الثابت الذى يزداد مع الوقت عند نقطة واحدة أو الزيادة الكبيرة بين نقطتين يبين احتمال

حدوث مشاكل. فمثلاً، إذا كان العد أعلا باستمرار تحت التيار لخزان اعلى منه فوق التيار، فانه يمكن افتراض أن البكتريا تنمو فى هذا الخزان الجوفى. تسرب الهواء نحو الخزان أو الطلمبة يمكن عادة معرفته بزيادة العد اسفل التيار.

بينما أن التفسير الدقيق للاعداد ليس ممكنا، إلا أن مجالات العد تفيد فى المساعدة فى اتخاذ القرار اثناء العمل. الجدول الأتى يوفر دليل عام للاستخدام عند الحاجة إلى الحكم من خلال كمية محدودة من البيانات. هذا الدليل له قيمة لاتخاذ القرار، ولكن يفضل تكرار الاختيارات ورؤية الاختلافات أفضل من تفسير قيم العد.

جدول دليل للتقدير العام لبيانات عد البكتريا.

نوع البكتريا	رقم العد (خلية/ سم^3)	الدلالة المحتملة
الختزلة للكبريتات	1 - 10	عد قليل، ليس هناك مشكله
	10 - 10^2	هناك دليل، يتم تكرار الاختيار
	10^2 - 10^3	هناك دليل، يتم تكرار الاختبارات مع مراجعة النظام بالنسبة للتآكل والعفن الهلامى (Slimes).
	10^3 - 10^4	خطير، يحتمل للتآكل وان الترسيبات الهلامية عالية. يتم اختيرا النظام والاعداد لتوفير إجراءات العلاج.
	10^4 - 10^6	خطير جدا، يتم اتخاذ إجراءات العلاج فوراً
الهوائية	10 - 10^3	عد قليل، عموما ليست هناك مشكلة
	10^3 - 10^4	متوسط، يتم تكرار الاختيار
	10^4 - 10^5	هناك دليل احتمال نمو العفن الهلامى يتم تفتيش النظام فى حالة وجود الهلام يتم اتخاذ إجراءات العلاج
	10^5 - 10^6	خطير، خطير جدا، التفتيش على النظام لتعيين درجة ومكان الترسيبات الهلامية. يتم اعداد إجراءات العلاج

8- الاختبار المباشر للترسيبات:

عندما تظهر بيانات العد للخلايا أن هناك وجود خطير لتأثيرات البكتريـــا، فـــان أفضل خطوة تاليه هى الفحص البصرى للمعدة التى تأثرت. حتى أن العد الكبير ليس بالضرورة أن تعنى أن هناك مبرر لبرنامج معالجة مكلف. ولكـــن إذا كـــان واضـــحا بالجس العام أن هناك ترسيبات عفن هلامية كثيفة أو تآكل عند العد الكبير، فانه عندئذ يجب أن يؤخذ فى الاعتبار إجراءات العلاج.

الاختبار المباشر للترسيبات السطحية تحتاج إلى الاقتراب من داخل خطوط التدفق والخزانات. النمو الكبير تسهل رؤيته كما يمكن كشط العينات لعمل التحاليل.

عند السرعات المنخفضة فان النمو البكتيري يمكن أن يتراكم حتى ســمك 1ســم على جدران المواسير والاوعية. الترسيبات يمكن أن تكون بنيه ســوداء أو رماديـــة ودائما تبدو ملساء. هلام العفن البكتيرى الجاف يحترق مع ظهور رائحـــة حامـضية تاركا قليل من المتبقى أو بدون متبقى.

عينات الاختبار للتآكل ووصلات المواسير يتم دائمـــا الكـــشف عنهـــا بالنـــسبة للترسيبات الهلامية مع اول انتزاع لها. العينات التى يمكن استردادها التى تركب داخل خطوط المواسير الضخمة الحجم يمكن أن تستخدم فى الكشف عن الهلام العفـــن فـــى الحالات حيث ليس من المجدى توقف خط المواسير للكشف البصرى المباشر.

الانقاض التى يتم جمعها بالكشط يتم دائما عمل التحاليل المعملية لها بالنسبة للمواد العضوية الغير كربوهيدارتية التى تشير للنمو الكبير للبكتريا. وجود سلفيد الحديد فـــى مخلفات الكشط من خطوط المياه الضخمة الحاملة مياه بحر عادية يمكن الاعتماد عليها كمؤشر لنمو البكتريا المختزلة للكبريتات.

9- كيماويات مقاومة للبكتريا

يستخدم فقط عدد محدود من المركبات الكيماوية لابطال نمو البكتريا فى نظم مياه حقول البترول. كثيرا من المواد شديدة التأثير اما أن تكون شديدة السمية للإنسان أو أن تكون مرتفعة التكاليف للاستخدام فى الحجم الكبير بعملية المرة الواحدة. الـــشكل (3) أنواع الكيماويات المستخدمة فى الصناعات لمقاومة البكتريا.

جدول بعض الكيماويات المقاومة للبكتريا

1- Alkyl – Aryl Quaternary Ammonium Chlorides
2- الكلور – الهيبوكلوريتس (Hypochlorites)
3- Fatty Amines And Salts
4- Alky Thiocarbamates
5- Acrolien
6- الدهايدز Aldhydes
7- الفينولات المكلورة

الكيماويات التى تبطئ أو تعيق النشاط البكتيري عمومـــا تـــسمى (Biocides) اى المبيد الحيوى. فى الواقع فان التعقيم التام نادرا ما يتم تحقيقه فـــى حالـــة الاســـتخدام العادى للتركيزات. محلول الكلور القوى، مثل 0.2 ال 2 بالوزن% من هيبوكلورايت الكالسيوم، يمكن تدويره خلال خطوط التدفق والخزانات لتحقيق التعقيم وتحلل واكسدة الهلام. يتم ضبط الكتله الحجمية لمحلول الهيبوكورايت لتوفير زمـــن التـــصاق قـــدرة عشرة دقائق عند معدل الفخ. يستخدم كذلك الكلور والهيبوكلورايت فـــى شـــكل كتـــل حجمية كبيرة بنفس الطريقة لتعقيم ابار الامداد بالمياه.

استمرار استخدام الكلور لا ينصح به فى حالة نظم المياه المنتجـــة نظـــرا لأنـــه مؤكسد قوى ويميل إلى ايجاد مواد صلبة. يستخدم الهيبوكلورايت الذى يـــتم تـــصنيعه اليكتروليكيا لمعالجة مياه البحر الخام فوق التيار لجهاز سحب الهواء (Deaerators).

10 – الاستخدام الحقلى للمبيدات الحيوية:

المبيدات الحيوية التجارية لحقول الابار مثل (Fatty Amines Or، Thio Complex، A cetate salts، Quaternary Ammonium Chloride، Carbamides (Aldhydes

هذه المبيدات الحيوية يتم عادة حقنها فى نظم المياه باستمرار بتركيز حتى 5 إلى 20 ملرجام` لتر. الكيماويات يمكن حقنها مباشرة بواسطة طلمبة حقـــن الكيماويـــات المعدة لقياس التدفق، و كمية من محلول فىمياه نقية منخفضة الملوحة يتم تحـــضيرة واستخدامه لتوفير زيادة الحجم لامكان زيادة دقة القياس.

الطريقة المفضلة عموما للمعالجة الاقتصادية لنظم المياه الضخمة تتكون من حقن 50 الى200 ملجرام` لتر لمدة 4 إلى 6 ساعة كل ثلاثة إلى خمسة ايام ثم تغيير نوع الكيماويات كل اسبوعين أو ثلاث اسابيع، تركيز الجرعة ومعدلاتها يتم ضـــبطه مـــن بيانات العد للخلية.

المعالجة التقليدية للبكتريا تتكون من الحقن المتبادل لمادة Glutaraldhdhyde عند تركيز 1500 ملجرام` لتـــر لمـــدة ســـاعة واحـــدة، وبالنـــسبه لـــــ Quaternary Ammoniumchoride بمعدل 500 ملجرام` لتر لمدة ساعة واحدة. معـــالجm الـــساعة الواحدة يتم تنفيذها مرتين كل اسبوع. هذا البرنامج يعتقد انه أكثر تاثيرا عن المعالجة كل اسبوعين يتركز 150- 200 ملجرام` لتر لمدة 3.5 إلى 4 ســـاعة. يـــتم كـــشط الخطوط من آن إلى آخر مثل مرة كل اسبوع لإزالة الرواسب التى تـــأوى تجمعـــات البكتريا.

الفصل الرابع

نوعية المياه للحقن الجوفى
(Water Quality For Injection)

1- مقدمة

متطلبات نوعية المياه تتغير طبقا لاستخدام المياه. فمثلا، نوعية المياه المطلوبة للاستهلاك الآدمى تختلف عن تلك المطلوبه لمختلف الأغراض الصناعية. النوعية هى مقياس مدى تحقيق الماء لمتطلبات استخدام معين. نظر لأن معظم المياه التى يتم تداولها فى صناعة البترول تعود ثانيا إلى الأرض، فإن طبيعة تكوينات التربة هى التى تقرر نوعية المياه المطلوبة. أكثر تحديدا يمكن القول أن المقياس الأول لنوعية المياه لاغراض الحقن هو تركيز وطبيعة المادة العالقة (الصلبه) التى يمكن أن تحدث انسداد فى فتحات الصخور ومسارات التدفق. ملاحظة دقيقة وان كانت مدهشة هى انه فى اختبارات المعمل العينة من قلب تكوينات الحقن يمكن دائما تقريبا أن تصبح مسدودة بشدة لقليل من أحجام الثقوب لمياه الحقن المستخدم فى الموقع. فى حالة عدم الترشيح الدقيق جدا، حتى أن عينات المياه الحقلية التى تم جمعها وحفظها بحرص سوف تحدث انسداد وجه قلب الصخر بما يقلل بشدة اختراق المياه اثناء اخبتارات التدفق. اختبارات الفيض المعلمية باستخدام (لب الصخر – Core) هى عموما لا يعتمد عليها لتقدير انسداد البئر بالمواد الصلبه العالقة.

فى العملية العادية، ابار الحقن نادرا ما يحدث لها انسداد كامل. على العكس بعض الانسداد (أعاقة طاقة الحقن) من المحتمل أن تحدث بصرف النظر عن المعالجة التى تمت للمياه.

2- مصير المواد الصلبه عند دخولها شقوق الصخر:

كل مياه الحقن تحتوى على بعض الاجسام العالقة من مواد غير مذابة. وهذه عادة تكون مواد طفلية، أو طفلية رملية، أو رمال رفيعه، أكاسيد الحديد المائية، سلفيد الحديد، كربونات الكالسيوم، هلام عفن البكتريا وكائنات حية دقيقة. مياه الإنتاج المالحة

(Produced Brines) وبعض مياه الآبار تحتوى على هيدروكربونات ثقيلة وزيوت خفيفة وهذه عادة تبلل وتغلف المواد الصلبه الأخرى.

عند تناول مشكلة الحقن وانسداد الابار (انخفاض طاقة الحقن) فان ذلك يجب أن تكون له علاقة مع (1) تركيز المواد الصلبه (2) قدرتها على احداث انسداد للثقوب الصغيرة أو قنوات التدفق (3) قدرة مختلف التكوينات الصخرية على قبول وتخزين المواد الصلبه. هذا يدعو إلى السؤال وهو ماذا يحدث لاجسام المواد الصلبه العالقة عند دخول المياه للصخر.

تكونيات الحقن يمكن اعتبارها على انها مرشح عالى الكفاءة. هذا المبدأ يتم تأكيده بالموجز الاتى لعديد من الدراسات المتعلقة بغزو الصخر بالمواد الصلبه الدقيقة.

(1) الحجم المؤثر لفتحات المسام فى بناء المادة الصخرية (Rock Matrix) الذى يتراوح ما بين 5 إلى 15 ميكرمتر بصرف النظر عن طبيعة الصخر.

(2) لاحداث الانسداد، فان الاجسام الصلبه يجب أن تكون صغيرة بما يكفى لدخول مسام الصخر. والا فانه تتكون طبقة خارجية من قشور الترشيح والتى لها نفاذية أعلا من تلك فى البناء الصخرى.

(3) مسام التدفق فى الصخر تكون متعرجه والمواد الصلبة الصغيرة بما يكفى لدخولها بسرعة تواجه اختناقات التى تعيق الاختراق العميق.

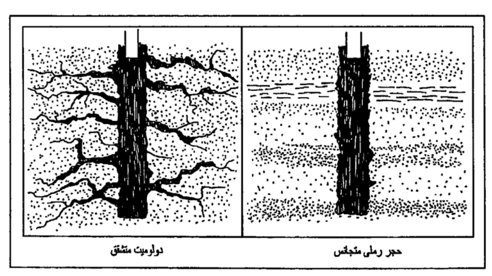
(4) فى اختيارات تدفق اللب (عمق كتلة الصخر) باستخدام المياه المحتوية على مواد صلبة عالقة متجانسه ذات حجم اقل من 5 مليميكرون، فان اختراق اجسام المادة هو عادة لا يزيد عن 4-5 سم، وعمق اقصى اختراق يتوقف على الضغط (الاقل من ضغط التهشيم) أو حتى 350 وحدات نفاذية (350 Millidar Cies)

عند وجود خليط من أحجام المواد الصلبه (كما هو الحال لمياه الحقن)، فانه تتكون طبقة قشور مرشحه من هذه الجسيمات الصلبه تأوى خلال وقريبا من سطح الصخر وغالبا على السطح. أخيرا تصبح الأجسام الصلبه الصغيرة محتجزة خلال سطح طبقة القشور المرشحة. نفاذية طبقة قشور الترشيح الداخلية (الجسيمات الموجودة داخل المسام القريبة من السطح)عادة تساوى أو أكبر من تلك القشور التى على السطح.

لذلك فان العامل الذى يؤثر بطريقة كبيرة ويحد من معدل الدخول المستمر للمياه فى البناء الشبكى للصخر هو نفاذية قشور الترشيح السطحية أو الجلد (بصرف النظر عن تأثيرات التشبع والخاصية الشعرية وقى اللزوجة). بسبب التقنطر لفتحات المسام بواسطة الاجسام الغازية، فانه جزء فقط من المساحة الكلية المتاحة للمسام تكون مملوءة بحجم الاجسام. انه من المشكوك فيه أن حجم الاجسام الموجودة فى البناء الشبكى للصخر يزيد عن حجم قشور السطح عند حدوث انسداد كبير.

بالنسبة لميكانيكا الإنسداد الذى يحدث لوجه الصخر، فانه قد يكون هناك استفسار هو انه لماذا بعض التكوينات تقبل أحجام كبيرة من مياه الحقن ذات النوعية المتدنية بينما أنواع أخرى يحدث لها انخفاض سريع لطاقة استحواز وقبول المياه. الشرح الاكثر قبولا هو أن المساحة المؤثرة لدخول المياه فى البناء الشبكى للصخر (مساحة الترشيح السطحية للصخر) تكون اكبر كثيرا فى بعض الابار عن الأخرى. فمثلا، الدولوميت الذى به تشققات طبيعية يقبل المياه الملوثة (Dirty) أفضل من الرمال المتجانسه حتى فى حالة أن مقياس نفاذية الرمل تكون أعلا بدرجة كبيرة. ابار الحقن الكاملة فى الرمال المتجانسة لها فقط المساحة المعرضة لمسام الثقوب لدخول المياه. اى تشقق أو تصدع كبير متصل بفتحة بئر الحقن يزيد كثيرا سطح الترشيح لوجه الصخر الذى يمكن أن يكون موجودا فى ابار الحقن.

الشكل (2/12) يوضح أسلوب الاختلاف فى مساحة وجه سطح الصخر الذى يمكن أن يكون موجود فى ابار الحقن.



شكل (2/12) توضيح الاختلاف فى مساحة وجه الصخر فى آبار الحقن

3- مصادر وخواص المواد الصلبه العالقة:

طبقا للمصدر الاصلى والتعرض السابق، فان مياه الحقن عادة تحتوى على العديد من المواد الصلبه. نواتج التآكل، الطفلة، الجسيمات نتيجة الترسيبات تحدث بالإضافة إلى المواد العضوية نتيجة نشاط البكتريا. الزيت الخام والهيدروكربونات الشبه صلبه عادة تكون موجودة بكميات مختلفة فى مياه الإنتاج. المواد المخلوطة تميل إلى التكتل أو الالتصاق معا، وانه من الصعوبة الحصول على قياس للحجم. تحت المجهر يمكن ملاحظة أجسام تتراوح فى حجمها ما بين اكبر من 100 مليميكرون إلى اقل من واحد مليميكرون. حجم الأجسام معرض للتغير مع الوقت ومع التغيرات فى قلوية الماء بعد جمع عينة الماء.

كثافة خليط المواد الصلبه المدمجة يتراوح من 0.9 إلى 2 جرام على السنتيمتر المكعب بمتوسط 1.3 جرام/سم^3. وهذا يكافئ لطبقة ترشيح قشرية بحجم 0.77 سم^3/جرام أو 770سم^3/ كيلو جرام. حيث أن واحد مليجرام فى اللتر يساوى واحد كيلو جرام لكل الف متر مكعب (بفرض أن الثقل النوعى للماء = 1) عندئذ المواد الصلبه الكلية العالقة بالمجرام/ لتر × 770= حجم قشور ترشيح بالسنتمتر المكعب لكل 1000 م^3 من الماء. عند معدل حقن 100سم^3/ اليوم، فان الماء المحتوى على 36 ملجرام/لتر من المواد الصلبه العالقة سوف يرسب تقريبا واحد متر مكعب من المواد الصلبه المدمجة فى فتحات وتشققات الصخر فى سنة واحدة.

النفاذية المقاسة لطبقة قشور الترشيح التى تكونت من المواد الصلبه العالقة التى وجدت عادة فى مياه الحقن هى عادة اقل من واحد وحدة نفاذية. الاجسام الصلبه الدقيقة اقل من 30 مليميكرون المغطاه بطبقة من الزيت أو من هلام البكتريا عادة تنتج طبقة من قشور الترشيح المدمجه ذات وحدة نفاذية 0.1 أو اقل.

4- طرق تصنيف نوعيه المياه

Water Quality Rating Methods:

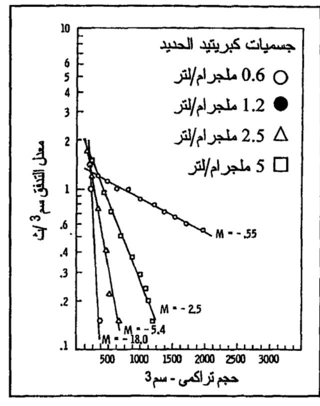
تقنيات التوقع المؤكد لنوعية المياه المطلوبه للحقن على المدى الطويل فى ابار منفصلة لم يتم تطويره حتى الآن. الشكل الهندسى وطاقة قنوات التدفق فى الصخر لتقبل المواد الصلبه لا يمكن استنتاجها من التحاليل القياسية للب الصخر (Core) أو من

بيانات سجل البئر. الدليل العام المبنى اساسا على الخبرة هو أن تشققات الدولوميت والحجر الجيرى يمكن أن تقبل مياه محتوية على 10 إلى 30 ملجرام/ لتر من المواد العالقة ولكن المياه الداخلة إلى الرمال المتجانسة لا تحتوى على أكثر من 3 إلى 5 ملجرام` لتر.

تمت محاولات كثيرة لتطوير طرق الاختبار لتقدير القياس لنوعية ولمقارنة المعدلات النسبية لنوعية الحقن لمختلف أنواع المياه.

الطريقة الأكثر استخداما التى تم الوصول إليها تتكون من اختبار معدل الترشيح باستخدام غشاء بلاستيك مسامى كمجال قياسى للاختبار . قرص المرشح الغشائى يكون بقطر 47 مليتمر وله فتحات بقطر 0.45 مليميكرون. تتكون طريقة اختبار المرشح من مرور حجم معين من مياه الحقن خلال قرص المرشح الغشائى تحت ضغط ثابت وقياس معدل التدفق عند فترات حجمية معينة. يتم عمل مخطط لمعدل التدفق مقابل حجم دخول المياه حيث ينتج منحنى ميله يكون مؤشر لاختبار معدل الانسداد للمرشح. باستخدام قرص غشائى سبق وزنه (أو مصفوفة من قرصين متطابقين تم وزنهما)، فإن كمية المادة الصلبه المحتجزة من حجم المياه المرشحه يمكن تعيينها.

الشكل (2/13) يوضح عدد من المنحيات الناتجة عن توقيع معدل التدفق مرشح الغشاء مقابل أحجام الدخول باستخدام مياه معده معمليا. فى هذه الاختبارات المواد الصلبه الوحيده الموجودة كانت كميات مختلفة من جسيمات كبريتد الحديد المترسبة. فى سلسة الاختبار هذه، رقم الميل السالب (M) ، الازاحة الطوليه عن الأفقى لكل وجوة طول الخط) إزداد بزيادة تركيز الاجسام العالقة. الماء النقى الخالى من المواد العالقة سوف ينتج توقيع خط افقى.

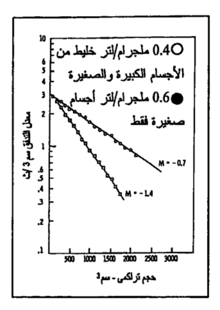


شكل (2/13) تأثير تركيز الجسيمات على توقيع الاختبار لمرشح الغشاء

ميل معدل الترشيح M، لا يقابل دائما تركيز المواد الصلبة كما هو موضح بالبيانات للشكل (3) .

توقيع البيانات من اختبارات المرشح الغشائى هى مؤشرات حقيقة لنفاذية قشور الترشيح المتكونة بالمواد الصلبة فى الماء الذى تم اختباره. السمك (أو الطول) لطبقة قشور الترشيح هو دلالة لتركيز المواد الصلبة، ولكن النفاذية هى كذلك تتأثر بطبيعة وحجم الأجسام. كما هو موضح فى الشكل (2/14)، يمكن للأجسام الصغيرة أن تلتصق قريبا من بعضها مكونه قشور ترشيح أكثر كثافة (اقل نفاذية) مقارنة بخليط من الأجسام الكبيرة والأجسام الصغيرة. (أو الأجسام الكبيرة فقط). لهذا السبب فان اختبارات مرشح الغشاء تبين بيانات موقعة أكثر انحدارا أكثر من الاختبارات فوق التيار حتى لو كان تركيز المواد الصلبه تحت التيار أقل منه فوفق التيار. المواد الصلبه الجيلاتينيه أو اللينه مثل أكسيد الحديد أو هلام عفن البكتريا تنتج قشور ترشيح اقل نفاذية (البيانات الموقعة اشد انحداراً) عن المواذ الصلبه البللورية مثل قشور الترسيبات (Scale solids). عموما يمكن استنتاج ان انحدار بيانات اختبار المرشح

الغشائى هى قياس نوعى لقدرة المواد الصلبة على انسداد فتحـــات مـــسامية صـــغيرة ولكنها لا توفر معلومات كمية عن اجمالى قدرة الانسداد. من الواضـــح ان التركيـــز العالى للمواد الصلبه مع الميل القوى للانسداد يعتبر أسوأ عن التركيز المتـــساوى ذو قدرة انسداد للمواد اقل.



شكل (2/14) تاثير توزيع حجم الجيبه

5- دليل تصنيف نوعية المياه التجريبية:

An Emperical Water Quality Rating Guide

مخطط البيانات الموقعة من اختبار المرشح الغشائى يمكن أن تساعد فى معرفـــة طبيعة الانسداد للمواد الصلبه العالقة. ولكن بالنسبة للمقارنة النسبية لنوعية المياه (مياه مختلفة أو اختبارات من نقطة الى نقطة فى نظام الحقن)، التعيين الكمـــى لتريكـــزات المواد الصلبه يعتبر حيوى وعموما يجب ان يكون الاختبار الأول فى الرصد الروتينى لنوعية المياه.

فى بعض الظروف توجد الحاجة لطريقه أكثر تحديدا لتصنيف نوعية المياه التـــى توفر القيمة العددية للقدرة الكلية على الانسداد. احد مثل هذه الحالات يمكن ان تكـــون برنامج للعلاقة بين قياس نوعية المياه مع كفاءة الحقن للبئر قبل التمدد لميـــاه الطفـــو (water Flood Expansion). قيمة التصنيف لنوعية المياه المثالية يجب أن تعبتر كـــلا

من التركيز والقدرة النسبية على الانسداد للمواد الصلبه. الاتى بعد طريقة مقترحة مصممة لهذا الغرض.

1- يتم تنفيذ اختبار مرشح الغشاء بالطريقة العامة القياس الأول لمعدل التدفق يتم عمله بعد ترشيح بعض من المياه وظهور التغير فى معدل التدفق/ وحدة الحجم قد تم تباته. كمية المياه التى يجب ان يتم ترشيحها قبل اخذ القياس الاول لمعدل التدفق هو حوالى 30% من الحجم الكلى الذى سيتم ترشيحه.

القياس الثانى لمعدل التدفق يتم عمله قبل نهاية الاختبار مباشرة. تأكد من قياس اجمالى سريان الماء خلال مرشح الاختبار.

مثال:

بفرض ان المياه المتسخة إلى حد ما اللازم اختبارها وأنه حوالى واحد لتر يمكن ترشيحه قبل انخفاض معدل التدفق إلى حوالى 0.2 سم^3/ ث. أبدأ الاختبار وتدفق 250سم^3 مكعب من المياه خلال المرشح. أوقف التدفق، أفرغ الاسطوانه وأبدأ ثانيا فى اعادة التدفق. باستخدام ساعة ميقاتية يتم قياس الزمن اللازم لترشيح 100سم^3 اضافيه. الساعة يمكن ان تبدأ عند علامة 50 سم^3 على الاسطوانه وتوقف عند علامة 150 سم^{3}بدون اضطراب للتدفق.

احسب معدل التدفق سم^3/ ث. هذا يعتبر انه معدل التدفق (QA) عند الحجم التراكمى (CVA- Cumulative Volume – A) الذى عنده اوقف الساعة. فى المثال السابق كان الحجم التراكمى هو 350سم^3 (250 سم^3 فى الاول + سم^3 اثناء قياس المعدل).

استمر فى الاختبار متتبعا اجمالى كمية المياه المرشحه. اعمل قياس آخر لمعدل التدفق قرب نهاية الاختبار. فمثلا، أبدأ الساعة عند 850سم^3 حجم تراكمى وأوقفها عند 950 سم^3 احسب معدل التدفق الثانى (QB) بالسنتيمتر الكعب/ الثانية عند الحجم التراكمى النهائى (CVB) .فى هذا المثال (CVB). تكون 950 سم^3. يمكن ترشيح بعض من الماء الاضافى بعد (CVB) وهذه يتم قياسها بحيث الحجم الكلى خلال المرشح يكون معلوما.

2- استخدام المعادلة التالية لحساب رقم الميل التجريبى (ESN) (Emperical Slope Number)

$$ESN = \log \frac{QA}{OB} \cdot \frac{2500}{CVB - CVA}$$

3- يتم تسجيل قيمة (ESN) والحجم الكلى للماء المرشح.

4- احسب الزيادة فى وزن قرص الغشاء واستخدام الحجم الكلى المقاس خلاله، احسب ملجرام/ لتر للمواد الصلبة العالقة فى الماء (TSS- Total Suspended Solids)

5- اضف القيمة العددية لكل من (ESN)، TSS. المجموع يمكن استخدامه كمؤشر للنوعية النسبية للماء فى الحقن مع التضمينات التالية.

نوعية المياه للحقن:

رقم المؤشر	النوعية العامة
اقل من 4	ممتازة – الماء مناسب لمعظم التكوينات
12-4	جيد الى متوسط
20 -12	الماء يمن ان يحدث انسداد فى الحجر الرملى
اكبر من 20	ضعيف – الماء يمكن ان كيون مناسب للدلوميت المتشقق ولكن عموما يتم تريقه

6- انتفاخ الطفلة والتحول الى الحالة الغروية

Clay Swelling And Peptization

يمكن أن تنخفض طاقة المأخذ لآبار الحقن فى حالة:

أ- أن تكون صخور مكونات التربة محتوية على كمية كافية من نوع معين من الطفلة خاصة (Montmorill onite)

ب- انخفاض الايونات ثنائية التكافؤ فى مياه الحقن (الكالسيوم والمغنسيوم). وجود هذا التأثير الى حد الخطورة فى مياه الفيض يبدو ان يكون نادرا ولكن الخطر يتم معرفته عند الحقن فى تكونيات من الحجر الرملى (Sand Stone). المياه العذبة ذات الملوحة المنخفضة عموما لا تسبب اتلاف لنفاذية التكوينات المحتوية على الطفلة فى حالة ان 10% أو اكثر من الكاتأيونات المذابة فى مياه التكوينات الارضية وفى مياه الحقن هى كاتأيونات الكالسيوم والمغنسيوم مقابل.

$$\%10 = \frac{100\ (\text{ملجرام/ لتر})\ Mg^{++} + Ca^{++}}{\text{ملجرام/ لتر}\ Mg^{++} + Ca^{++} + Na^{+}}$$

يتم مراجعة التحاليل للمواد المعدنية لمكونات التربة ومياه الحقن قبل بدء الحقن لتعيين ما إذا كان كل كاتأيونات الماء محتوية على اقل نسبة مطلوبة من الكاتأيونات ثنائية التكافؤ. فى حالة وجود شك بخصوص حساسية الطفلة لنوع معين من التكوينات يمكن عمل اختبار اللب (Cretest) لتعيين ما إذا كان هناك احتمال فقد فى النفاذية من الطفو بمياه منخفضة الملوحة.

الفصل الخامس

ازالة المواد الصلبة والزيوت

Solids And Oil Removel

1 – مقدمة

معظم التكاليف فى ترويق المياه فى عمليات انتاج البترول هى فى اعـداد الميـاه لتكون صالة للحقن الجوفى (Subsurface Injection). إزالة الزيوت المشتته والمـواد الزيتية الصلبة قبل الصرف السطحى (على الارض أو فى البحر) هى كذلك مـشكلة صعبة ومكلفه فى الاماكن حيث القيود البيئية على صرف الملوثات.

فى الفصل (4) تم تناول الطبيعة العامة للمواد العالقة فى مياه حقـول البتـرول، ودورها فى انسداد آبار الحقن، ومشكلة معرفة نوعية مياه الحقن. فـى هـذا الفـصل تلخيص لإزالة المواد الصلبة والزيوت فى عمليات انتاج البترول.

2 – ازالة المواد الصلبة من امدادات المياه السطحية

مياه الامداد أو التعويض للحقن الجوفى (Inland Flooding) غالبا ما يكون مـن مياه الابار ولكن احيانا تؤخذ المياه مباشرة من الانهار أو البحيرات. ابار امداد الميـاه يفضل ان تكون من الخزانات الجوفية العميقـة نـسبيا الحاملـة للميـاه الخمـضاء (Brakisn Water) أو المياه المالحة والتى لا تناسب الاستهلاك الآدامى والحيـوانى أو الزراعى. أحيانا تستخدم المياه العزبة عندما يتوفر مصدر الامداد. طبيعى ان يستخدم ماء البحر فى حالة الابار البحرية أو التى على طول الساحل. بعـض ميـاه الابـار العميقة تحتوى اقل من 5 ملجرام/لتر من المواد الصلبة العالقة وتكـون خاليـة مـن الهيدروكربونات والاكسجين المذاب. هذه المياه يمكن حقنها مباشرة بـدون المعالجـة لازالة المواد الصلبة ولكن يتم تدوالها كلية فى نظم مغلقة لمنع تلوث الهواء.

مياه الابار الضحله من الخزانات الجوفية الرملية تكون عادة بها عكارة لاكثر من 10 ملجرام/ لتر من الطفلة، طمى السيليكا، اكاسيد الحديد. ابار الامداد بالميـاه التـى أنشئت على طول شواطئ الانهار، البحيرات والبحر يمكن كذلك ان تنتج ميـاه بهـا وساخات عند بد الضخ. تركيز المواد العالقة يقل عادة مع مرور الوقـت واسـتمرار

إنتاج البئر. السحب الأولى بالمحتوى العالى من المواد الصلبة العالقة لا يسمح بدخوله ابار الحقن. الاداء الجيد هو استمرار ضخ البئر لعدة أسابيع حتى ثبات المحتوى من اجمالى المواد الصلبة العالقة قبل استخدام المياه فى الحقن. البديل، هو استخدام مرشحات مؤقتة. كقاعدة عامة، مصادر المياه الضحلة والسطحية تحتوى على اكسجين مذاب ولكن المحتوى من الاكسجين يمكن ان يكون أقل من مستويات التشبع. عندما تكون اى كمية من الأكسجين المذاب اكبر من 0.3 ملجرام/ لتر طبيعيا فى الماء، فانه يصرح بتنقية المياه فى نظم المعالجة المفتوحة بدون الحماية من دخول هواء إضافى المنطق هنا هو ان الاكسجين يلزم ازالته خاصة إذا كانت مياه الامداد يتم خلطها مع مياه الانتاج (Produced Water) قبل الحقن.

3- النظام المفتوح للترويق:

المعالجة بالنظام المفتوح تفيد تحديدا فى ترويق المياه السطحية المحتوية على اكثر من 50 ملجرام/ لتر من المواد الصلبة العالقة (باستمرار أو احيانا) ذات حجم جبيبات المتوسط اقل من 20 ميكروميتر (ميكرون، مليتيكرون). عموما، ازالة المواد الصلبه العالقة الكبيرة الحجم وعالية الكثافة بالترسيب الطبيعى عند الضرورة. تضاف الكيماويات مثل كبريتيات الحديد أو الالومنيوم بمعدلات يتم تحديدها بعدة اختبارات. الشحنات السطحية (جهد زيتا السالب – (-ve Zeta Potentail) الموجود طبيعيا على الاجسام الصلبة الصغيرة يتم معادلتها جزئيا بكيماويات الترويب بما يسمح للجسم العالق للاقتراب من بعضه ليكون كتل أكبر حجما . ثم يزداد التكتل بواسطة المواد الجيلاتينية منها رواسب اكسيد الحديد المائى أو ايدروكسيد الالومنيوم، وهذه تحتضن تكتلاب الأجسام الصغيرة الى زغبات اكبر (Flocs). عادة تستخدم مساعدات تكون الزعبات والترويب مثل السيليكا المنشطة (المائية) والبملرات المخلقة من البولى اليكتروليت مع المروب الأولى من الحديد أو الالومنيوم. فى بعض المياه، المحتوية على مرروبات طبيعية اى الحديد المذاب، فانه يتم استخدام بلمرات الاضافة من البولى البكتروليت فقط بدون مروب اولى. الترويب وتكون الزعبات الثقيلة يتأثر بشدة بقلوية الماء. بالنسبة لمروب الالومنيوم افضل رقم هيدروجينى هو من 6–7 ، ولكن الرقم الهيدروجينى للحديد يمكن أن يتغير ما بين 4 إلى 10. التحكم فى الرقم الهيدروجينى هو جزء هام من برنامج الاختبار الأولى والمعالجة الكيماوية الروتينية أثناء استمرار العمل.

عامل آخر يجب التحكم فيه فى عملية التزغيب والترويب وهو معدل التقليب أو الخلط. الاداء القياسى هو بعمل الخلط الأولى السريع لانتشار الكيماويات يليه فترة التقليب البطئ التى تسمح بالزغبات المحتوية على المواد الصلبة لتتمو وترسب. تصميمات خاصة بالتدفق خلال احواض من الخرسانة تستخدم فى محطات معالجة المياه الضخمة. فى استخدامات حقول البترول، يفضل عموما استخدام احواض من الصلب وهى المروقات التى تعمل بالتصاق المواد الصلبة (Solid Contact Clarifiers)، حيث يوجد نظام تدوير الحمأة بما يسمح للكيماويات والمياه الداخلة للتفاعل فى وجود المواد الصلبه التى تكونت، تركيز الحمأة مع الازالة المستمرة، وسحب المياه العالجة والتى يتم بعد ذلك ترشيحها لازالة اى مواد صلبة عالقة متبقية.

المرشحات للمياه السطحية

يستخدم الترشيح عادة كطريقة وحيدة لازالة المواد الصلبة عندما يكون تركيز المواد الصلبه العالقة منخفضا وان معظم حجم الجسيمات العالقة يكون نسبيا اكبر من 10 مليميكرون. بعض الانشاءات (الغير بحرية) تستخدم مرشحات الجاذبية المفتوحة لمعالجة الاحجام الكبيرة من مياه البحر. وهذه تكون عبارة عن احواض خرسانية مزودة بالصرف السفلى الذى يوضع فوقة طبقات من الزلط المدرج تعلوها مجال الترشيح الرملى. طبقة الترشيح العليا تكون بسمك 30- 45سم ويكون القطر المؤثر بحيث 90% اكبر من 0.4 مليتمر. معدل التدفق السفلى بالجاذبة يتروامح ما بين 1.5 – 6.5 لتر فى الدقيقة/ المتر المربع من سطح المرشح.

مرشحات الضغط ذات الطبقة المدرجة تستخدم لترشيح مياه البحر المهواه فى البحر، المياه السطحية على الأرض، خاصة فى الامكان البعيدة وحيث يكون اجمالى حجم المياه صغير نسبيا.

كفاءة مرشحات الضغط فى إزالة الأجسام الصغيرة أكبر من 20 مليكرون يتم تحسينها بالتغذية بمساعد الترويب من البولى البكتروليت العضوى بجرعة من 0.2 الى 2 ملجرام/ لتر فى خط المياه فوق التيار لوحدات الترشيح. هذه التقنية تعمل فى حالة مرشحات الضغط ذات الطبقة العميقة بالتدفق العلوى. نقطة التغذية والحقن للبولى اليكتروليت يجب تحديدها لتوفر زمن التصاق لا يقل عن واحد دقيقة قبل الوصول الى

المرشح. وقد ثبت أن مرشحات التدفق العلوى مع التغذية المسبقة بالبولى اليكتروليت ازالت المواد الصلبه العالقة من مياه البحر بمتوسط 80 ملجرام/ لتر الى 2-3 ملجرام/ لتر حيث كانت المواد الصلبة العالقة من جسيمات السطحى ذات حجم حبيبات من 1 إلى 10 مليميكرون . بعض الانشاءات البحرية تنقى مياه البحر باستخدام المرشحات الديتومية (Diatomaceous Earth). كما تستخدم هذه الطريقة فى معالجة المياه العدوانية المنزلية ومياه الصرف الصناعى عند استخدامها فى امدادات الفيض (Flood Water) المرشحات الدياتوميه تستخدم جبليات الدياتوم الرفيعة (الدياتوم هو نبات يحتوى على السيليكا والتى تظل بعد جفافه). وحدات الترشيح تحتوى على عديد من الواح المصافى أو الألواح المغطاه بالخيوط المنسوجه. كل لوح عبارة عن مرشح فى مجموعة التىتتجمع إلى مخرج مياه واحد. النسيج المغطى للألواح أو المصافى يتم تغطيته مسبقا بردغة من الدياتوم قبل كل دورة. المواد الصلبة يتم احتجازها بوساطة قشور الدياتوم المتراكمة. معدل التغذية بالدياتوم هى 5 الى 15 جزء فى المليون فى المياه الخام قبل وحدة الترشيح . مرشحات الدياتوم تعمل بمعدل 0.05 م^3/ الدقيقة/ م^2 مقارنة بـ 0.6م^3/ دقيقة/م^2 لبعض المرشحات ذات التدفق العلوى والمعدل العالى والتى تعمل بالضغط. ولكن المساحة السطحية فى مرشح الدياتوم لوحدة المساحة المشغولة هى حوالى 20 ضعف اكبر من تلك للمرشحات الثابته التى تعمل بالضغط.

عند الاداء الجيد فان المرشحات الدياتوميه يمكنها ازالة جسيمات صغيرة حى قطر 0.5 مليكرون . ولكن لها عدة عيوب بالنسبة للتطبيقات العادية فى حقول البترول. اقصى احمال من المواد الصلبة فى المياه المطلوب معالجتها هو 30 ملجرام/ لتر، كما انها تتطلب انتباه من آن الى اخر، التخلص من الدياتوم السمتخدم يعتبر مشكلة وان المصفاه تتلف بسهولة وهذا يسمى بالتسرب. تم تحديث دياتومى مبسط باستخدام مصافى انبوبية وقشور الترشيح رطبه أو جافة بالدفق (Flushing) والذى ابعد كثيرا من المشاكل المرتبطة بعمليات الدياتوم التقليدية.

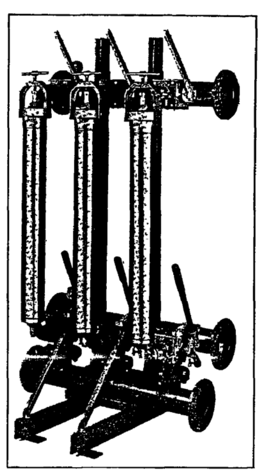
يستخدم كثيرا من انواع الفصل بالطرد المركزى لازالة الاجسام اكبر من 40 مليكرون. افضل تصميم هو السيكلون الاستاتيكى (Static Syclone) يشبه لتلك المستخدمه لخفض المحتوى من المواد الصلبة فى تدوير سوائل الحفر. بعض الجسميات الصغيرة حتى 5 مپليكرون يتم ازالتها ولكن كفاءة الازالة للاجسام الاصغر

من 20– 30 مليكيرون منخفضة جدا. أفضل استخدام لأجهزة الفصل بالسيكلون فـــى ترويق المياه هو الخفض للحمل من المواد الصلبة فوق التيار للمرشـحات الدياتوميـــه اوالمروقات ذات المواد الصلبة الملتصقة (Solid Contact Clarifiers) حيــث حــدود المساحة المتاحة لا تسمح باستخدام احواض الترسيب الحر.

المرشحات الأنبوبية ومرشحات الخرطروشة متاحة بتصميات مختلفة. الخرطوشة منخفضة التكاليف التى يتم التخلص منها تستخدم لمراجعة المرشحات (Gurd Filters) تحت التيار للمرشحات أو المرقات الرئيسية وذلك لحجز الجسيمات المحمولة والشاردة (Stray Carry Over Particles). وهذه تستخدم لازالة الرمـــال أو اى اجـسام مـــسببه للاحتكاك على رأس طلمبات الضغط موجبه الازاحة . وهى تستخدم كذلك كمرشحات نهائية عند رأس بئر الحقن المنفرد. الطاقة المنخفضة لحجز المواد الــصلبة ومـــشكلة التخلص من الخرطوشة يحد من استخدام هذه الخروطشة كمرشح عدا لـــنظم الحجـــم الصغير من المياه أو لمراجعة المرشحات كما سبق ذكره. عناصر الخرطوشة تزيـــل المواد الصلبة التى تترواح ما بين اقل مـــن 1 مليميكـــرون حتـــى اكبـــر مـــن 100 مليمكرون ولكن افضل مجال للحجز هو من 10 الى 25 مليميكـــرون فـــى حقـــول البترول.

مرشحات الضغط الانبوبية فى الخط متاحة مع عناصر مناسبة التى تبعد الحاجـــة لاستبدال الخرطوشة من آن إلى آخر والتخلص منها. العناصر هى الغسيل العكسى فى المكان إما آليا أو يدويا . الشكل (2/15) يوضح المظهر الخارجى للمرشح الانبـــوبى الذى يعمل يدويا. عند الاستخدام للمياه الغير مرشحة تدخل من مدخل عند القاع وتتدفق لاعلا وحول العناص الداخلية للمرشح التى هى مصافى من الصلب المقـــاوم أو مـــن المنسوجات المسلحة بتقويات من الصلب المقاوم. الكم الاسطوانى مـــن المنـــسوجات (Woven fabic Sleeves) لها مستويات حجـــز صـــغيرة حتـــى 1–3 مليميكـــرون. المصافى من المعدن المثقب أو من شيكه الاسلاك المنسوجة تحجز ما بين 25 حتـــى 1600 مليمبكرون وهذه توفر الحرية فى اختيار المجال لمتطلبات معينة. بعد الترويق اثناء المرور خلال حوائط عناصر الانبوب، يتحرك الماء النظيف الى ماسورة التجميع العلوية ثم الى الاستخدام. وحدات الغسيل العكسى الداخلى تستخدم المياه المرشحة من العناصر التى فى الخدمة لدفق ونظافة عنصر اخر. مكونات المرشح الواحد تحتـــوى

على 2-16 عناصر انبوبية توفر مساحة ترشيح 3.75 متر مربع. يمكـــن اســـتخدام تجهيزات متعددة لتوفير طاقة كبيرة.



شكل (2/15) المظهر الخارجى للوحدة اليدوية بثلاث عناصر

ترويق مياه الانتاج: Clarification Of Produced Water

التقنيات والمعدة المطلوبة لتحقيق النظافة لمياه الإنتاج المحتويـــة علـــى الزيـــت والمواد الصلبه الزيتية تختلف عن الطرق السابق مناقشتها لامدادات المياه الـــسطيحة المحتوية على مواد زيتية حرة فقط. فى الواقع، تم إنفاق الكثير فى محاولات لاستخدام الطرق التقليدية لازالة المواد الصلبه لمعالجة المياه المالحة الزيتية.

معالجة المياه المالحة الزيتية المنتجة بالنظام المفتوح، وبالتحديد تلك المحتوية على كبريتيد الهيدروجين، يمكن ان يولد كميات ضخمة من المواد الصلبة الجديدة. التعرض للهواء الجوى يساعد على ترسيب كربونات الكالسيوم، عنصر الكبريت، اكاسيد الحديد

وكبريتيد الحديد (Iron Sulfides). بتخير الهيدروكربونات الخفيفة واكسدة المكونات الثقلية (Heavier Fractions) يزيد التصاق طبقات الزيت على المواد الصلبه الاخرى ويعمل على ثبات المستحلبات الصمغية .كذلك تزاد حدة التآكل لهذه الاسباب، معظم نظم تداول مياه الانتاج تكون مغلقة لمنع وصول ودخول الهواء.

نظام الترشيح المغلق: Closed System Filteration

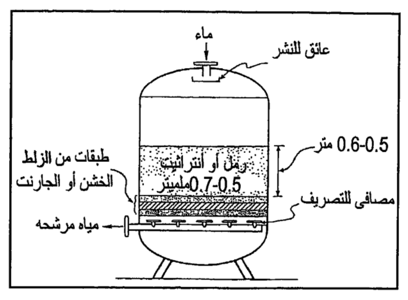
المرشحات المقفلة فى الخط التى تعمل بالضغط هى المستخدمة كمعدة لازالة المواد الصلبه لمياه الانتاج نظرا لبساطتها وانخفاض تكلفتها. كفاءتها عموما منخفضة بعد عدة اشهر بسبب تراكمات (Fouling) الهيدروكربونات ونمو وتكاثر البكتريا. عدد محدود من الانشاءات يستخدم البخار و المنظفات أو النظافة بالمذيب طبقا لجدول منتظم للمحافظة على طبقات الترشيح. مثل هذا العمل عموما غير مجدى فى عمليات حقول البترول العادية.

الشكل (2/16) يوضح مكونات نموذج لمرشح الضغط بالتدفق السفلى. مجال الترشيح المفضل هو الرمل المدرج وفحم الانثارثيت. معدلات التحميل السطحى هى 0.1 متر مكعب/ الدقيقة/ المتر المربع. حجم الجبيبات الأكبر يوفر دورات ترشيح أطول ومعدلات تدفق أعلا ولكن الكفاءة للأجسام الصغيرة اقل من 20 مليميكرون تنخفض.

طبقات الترشيح متعددة المجال توفر ترشيح دقيق وغير دقيق (فى شكل التدفق السفلى) مع الاختراق للطبقة العميقة وطول دورات المرشح عند معدلات التدفق العالية. نموذج للمرشح متعدد المجال يحتوى على طبقة من الانثاريثت بسمك 1-1.5 متر تعلو طبقة من الرمل بسمك 0.5 مليمتر وسمك الطبقة 0.2 متر، طبقة أو اكثر من الجارنيت (Granet) اى العقيق الاحمر بسمك 2 مليتمر أو الزلط اسفل الرمل. الطاقة هى 0.8 متر مكعب/ الدقيقه/ المتر المربع.

فى كل طبقة المرشحات، حجم الحبيبات وضغط الماء يحددا معدل التدفق. معدل التدفق يحدد الدخول وعدد وحدات الترشيح المطلوبة. مع انسداد المجال بالمواد الصلبة، فان السرعة بين الحبيبات عند معدل تدفق معين تزداد حتى تضغط قوى القص اجزاء من الطبقة وتفتتها هيدروليكيا. بعض من الاجسام المحتجزة عندئذ تتسرب مع المياه الخارجة.

ضغط التشغيل العادى للمرشحات ذات الطبقة الرأسية متعددة المجال هو حوالى 0.75 رطل/ البوصة المربعة. عند انخفاض الضغط عبر الطبقة ويصل الى 3.6 رطل/البوصة المربعة فان دورة الترشيح تنتهى، وينعكس اتجاه التدفق ويتم الغسيل العكسى للطبقة لتجنب تفتت المادة الصلبة. فى المرشحات عالية المعدل، الانخفاض فى الضغط المسموح به هو اكبر بـ 1.5 –2 ضعف. معدلات الغسيل العكسى يتم تعيينها طبقا لتقييم الطبقة ويجب ان تكون كافية لتمدد حجم الطبقات العليا بحوالى 20–60% الى اعلا فى المنطقة الحرة.



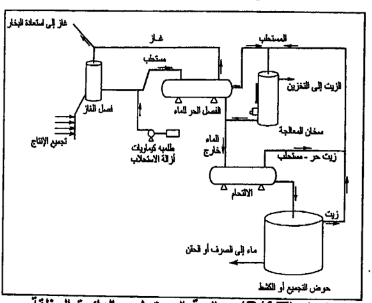
شكل (2/16) مرشح الضغط بالتدفق السفلى

مرشحات التدفق العلوى تستخدم طبقات متعددة وهى تشبه طبيعيا نوع التدفق السفلى . التمدد الزائد للطبقة عن التدفق الطبيعى لاعلا (0.3 متر مكعب/ الدقيقة/المتر المكعب) يمكن حجزه بجريدة من الصلب عند أعلا الطبقة . الماء الداخل إلى القاع يقابله أولا الطبقة الخشنة وأخيرا الطبقة الرفيعة العليا. مع معدلات التدفقات العالية، الحبيبات الدقيقة تخترق الطبقات السفلى، وتحتجز فى الطبقات العليا ذات الحبيبات الدقيقة. طبقا لتوزيع حجم الحبيبات، فان كل الطبقة يمكن أن تمتلئ تماما بالمواد الصلبة عند نهاية دورة الترشيح. نظافة الطبقة تتم أولا بتمدد الطبقة بالهواء أو الغاز الطبيعى ثم حقن خليط من الهواء أو الغاز مع الماء لدفع المواد الصلبة المحتجزة.

كما ذكر سابقة، الترشيح بالطبقة العميقة بالتدفق العلوى باستخدام البولى اليكتروليت السابق اضافته قبل المرشح استخدم بنجاح حيث تزال المواد الصلبة اقل من 10 مليميكرون. نفس النوع للنظام بالتغذية المسبقة بالبولى اليكتروليت موجب الشحنة وطبقات الرمل الخشبة نسبيا يستخدم للجمع بين التصاق الزيت (Oil Coalescer) والترشيح. يضاف المنظف الصناعى من آن الى اخر لدفق المياه اثناء النظافة بالغاز/الماء وذلك لغسيل الزيت العالق فى الوسط الرملى.

مشكلة الحمل بالزيت: (The Problem Of Oil Carry Over)

نظام المعالجة المغلق للمستحلب لفصل مياه الإنتاج، الزيت والغاز موضح فى الشكل (2/17). تسلسل المعالجة يمكن أن يكون معقد إلى حد ما عن ما هو موضح ولكن عادة يشمل بعض التجميع للاوعية الموضحة.



شكل (2/17) معالجة المستحلب بالدائرة المغلقة

الفصل الكامل للثلاث مجالات السائلة (غاز، زيت، ماء) يكون مطلوبا ولكن من الصعب تحقيقه. التحكم فى التشغيل يمليه عادة أقصى محتوى من الماء مسوح به فى الزيت المفصول (عادة لا يزيد عن 0.5% بالحجم). العامل الرئيسى فى هذا الموضوع هو كمية وحالة الزيت المتبقى فى مياه الصرف (حمل الزيت). حمل الزيت فى مياه الانتاج يعرف بأنه مشكلة هامة من وجهة النظر الاقتصادية والفنية. آثارها تزداد للاسباب الآتية:

1- متوسط نسبه مياه الإنتاج – الزيت يزداد

2- عدد آبار حقن المياه يزداد لأن معظم الآبار تتحول إلى الاستعادة الثنائية أو الثلاثية (Recovery).

3- المحاذير من التلوث السطحى بما يحد من الصرف السطحى.

الزيت المتبقى فى مجال المياه المنتجة عادة يوجد خاليا من الزيوت المحتجزة، الزيت المستحلب، الزيت الملتصق بالاجسام الصلبة. الزيت الحر عادة يتصف كجزء الذى ينفصل ويطفو الى سطح الماء عند وجوده فى حوض تجميع أو حجز أو فى وعاء الكشط (Skimming Vessel). يوجد الزيت المستحلب كتشتت ثابت إلى حد ما من نقاط صغيرة. كل نقطة من المستحلب لها طبقة خارجية أو جلد من عامل تثبيت المستحلب. الطبقة السطحية تكون شحنة كهربية بالقوة الكافية لانتاج التنافر التبادلى لنقاط اخرى من النقاط ذات الشحنة المتماثلة وبذا تعيق الالتصاق أو تلاقى عدة نقاط لتكوين كتله كبيرة.

معدل الفصل بالجاذبية للزيت المشتت من الماء يتحدد اساسا بفرق الكثافة بين المجالين السائلين الغير مذابين، حجم نقاط الزيت ولزوجة الماء.

عند ثبات كل العوامل، معدل الصعود أو الهبوط للجسم الكروى الصغير (1-100 مليميكرون) فى الماء هو تقريبا يتناسب مع مربع متوسط نصف القطر. السرعة النهائية (V) تكون طبقا للمعادلة الآتية:

$$V = \frac{2ga^2(d_1 - d_2)}{gm}$$

حيث:

a = نصف قطر الجسم الكروى بالسنتيمتر.

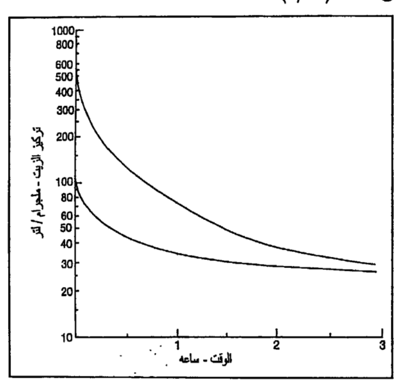
d_2، d_1 = كثافات الماء، الجسم الكروى بالتتالى. بالجرام/ سم^3.

m = معامل لزوجة الماء بالبويز (In Poises)

g = ثابت الجاذبية سم/ ثانية^2.

الأملاح المذابة فى الماء تزيد من الكثافة ولكن كذلك تزيد لزوجة الماء والتى بالتالى تبطئ من سرعة الصعود أو الهبوط. المعدلات التقليدية للفصل بالجاذبية للزيت

الخام من المياه المالحة المنتجة مع الزيت فى احواض التجميع الحقلية (Field Holding Tanks) موضح فى الشكل (2/18). يمكن ملاحظة أن معدل الفصل ينحنى سريعا فى الساعة الأولى ويصبح منخفضا بعد ساعتين. عموما زمن المكث حوالى ساعتين يكون كافيا لإزالة معظم الزيت الذى ينفصل بالجاذبية ولكن أحواض التجميع والمكث يجب ان تصمم جيدا مع توفير ألواح الاعاقة (Baffling) لتجنب قصر المسافة (Short Circuiting) بصرف النظر عن حجم الحوض. عند ثبات كل الحالات ولا يوجد تغير فى طبيعة الزيت والماء، فإن تركيز الزيت فى المجال المائى بعد فترة مكث لمدة ساعتين أو أكثر تميل الى اعتمادها على المحتوى الأولى من الزيت كالموضح فى المنتحيات فى الشكل (2/18)



شكل (2/18) الفصل بالجاذبية للزيوت الخام من المياه المالحة – المعدلات التقليدية

العوامل ذات التأثير على تشتت الزيت وثباته:

Factors Influencing Oil Dispersion And Stabilization

حتى أن الزيت النقى يمكن أن يتكسر إلى نقاط صغير وينتشر فى الماء. الطاقة الميكانيكية اللازمة تعتمد إلى حد كبير على الجذب بين السطحى للماء الزيت

(Interfacial Tension). الجذب بين السطحى هو القوة اللازمة لقص الحد بين الزيت الماء ويقاس بالداين على السنتميتر.

الزيوت الخام ليست نقيه اطلاقا حيث تحتوى عديد من المواد التى ليست هيدروكربونات بسيطة. بعض المكونات تحتوى على ذرات الأكسجين والنيتروجين فى بنائها الجزيئ الذى يعطيها الرغبة فى الماء. تلك المسماه المجموعات القطبية تعمل كعوامل نشاط سطحى (Surfactants) طبيعية وتخفض كلا من الجذب السطى والبين السطحى بما يجعل الخلط المتبادل للزيت والماء سهلا.

طبقا لطبيعية مادة النشاط السطحى الموجودة والى حد ما للنسبة الحجمية للسوائل الرئيسية، الزيوت الخام، والماء يمكن ان ينتج مستحلبات الماء فى الزيت (W/O) أو الزيت فى الماء (O/W). معظم المستحلبات هى من نوع الماء فى الزيت حيث ان الماء هى المجال الداخلى المشتت. فقط عدد محدود من الزيوت الخام تنتج طبيعيا العكس اى مستحلبات الزيت فى الماء (O/W) .هذه يكون من الصعب تكسيرها ومياه الانتاج المفصولة عادة تحتجز كميات كبيرة من الزيت المشتت.

بعض مستحلبات الزيت الخام تتكون من الزيت المنتشر فى نقاط الماء والتى بدروها تنتشر فى الزيت، المجال الخارجى المستمر (O/ W/ O). مثل هذا المستحلب المعقد يحتمل حدوثه طبيعيا الى حد ما ولكنه لوحظ فى عديد من الحالات عند الانتاج من الآبار التى تعالج بمادة الامين (Amine) المنتشرة فى الزيت كمثبط للتآكل. معروف انه يحدث تغير وانقلاب للمستحلب عند انتاج مجموعة من الابار الى بطارية من الخزانات المجمعة وكلها معالج بمثيط تآكل خلال فترة زمنية قصيرة. موجه المثبط عاليه التركيز الداخله الى وحدة معالجة المستحلب تنتج زيت ردئ (bad Oil) الذى يلزم تدويره لخفض المحتوى من الماء قبل الانتقال (Custody Transfer). فى هذه الحالة، لوحظ أن حمل الزيت فى المجال المائى زاد كذلك.

الاختبارات المعملية اوضحت انه مع زيت خام معين أن تركيز المثبط للتآكل بـ 15- 30 ملجرام/لتر يخفض الجذب السطحى بين الزيت والماء ويساعد على انتشار الزيت فى الماء. كما سبق توضيحه فان مكونات الامين فى المثبطات العادية لحقول البترول لها خواص جذب سطحى وازالة كيماوية للاستحلاب وتضاف احيانا لاستحلاب الزيت فى الماء.

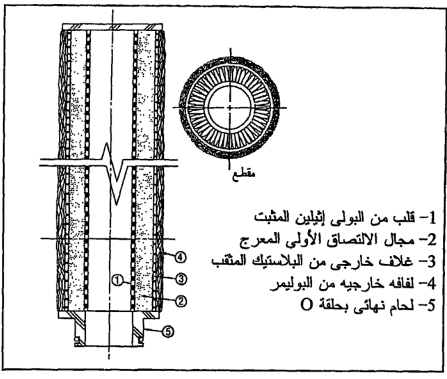
مصدر آخر لخفض الجذب السطحى هو مواد إزالة الاستحلاب مثل الكيماويات المستخدمة لكسر مستحلب الماء فى الزيت فى العمليات كذلك فقد أوضحت الاختبارات المعلمية حتى ان زيادة قليلة من كيماويات ازالة الاستحلاب اكثر من المطلوب لكسر المسحلب الأولى يمكن ان تسبب انتقال الزيت الى مياه الانتاج. المشكلة تكون حادة تحديدا عند وجود مستحلبات (O/ W / O) التىتم تثبيتها بالمثبط وعند إضافة إزالة الاستحلاب (Demulsifier) اعلا من العادى لإنتاج زيت يمكن بيعه. الموقف الاخير يحدث عادة عندما يكون الحجم الداخل يزيد عن الطاقة التصميمية لمعدة معالجة الزيت. بالإضافة لمواد النشاط السطحى الطبيعية والمضافة فى مسار السائل المنتج ، فان العوامل الميكانيكية تزيد من مشكلة حمل الزيت. طلبمات الطرد المركزى بالتحميل الزائد والتى تدور عند سرعات زائدة يمكن ان تعمل كعامل تجانس وتثبيت انتشار الزيت فى الماء. وكذلك فان تصادم السائل عند الانحناء الحاد للمواسير وكذلك الطرطشة داخل سطح الخزان لهم نفس التأثير.

ازالة الزيت والمواد الصلبة الزيتية باالالتحام:

Removal Of Oil And Oily Solids By Coalescence

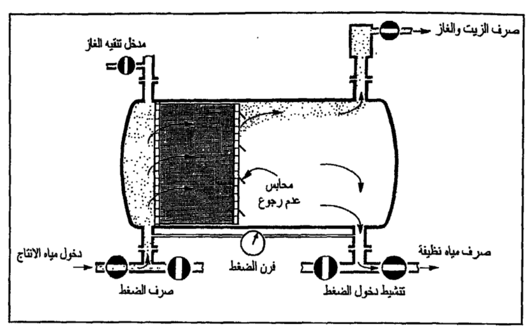
فى الشكل (2/19) وعاء الالتحام موضح حيث يأخذ المياه من جذب المياه الحر (Free Water Knockout) ومعالج المستحلب. بعض الالتحامات ليست الا غرف احواض مجهزة بعوائق التى تعكس اتجاه التدفق عدة مرات للعمل على فصل الزيت المحتجز ولكن فى حالة تفكك. آخرين يستخدموا مجال التحام حبيبى مثل الرمل متوسط الخشونة أو حبيبات الكربون التى تعمل على حجز وتركيز حبيبات الزيت الى أحجام اكبر والتى تنفصل بسرعة اكبر. مجالات الالتحام الحبيبية معرضة لتراكم كتل من المواد الصلبة الزيتية بنفس الاسلوب كما فى حالة المرشحات.

نقاط الزيت المحتجزة الصغيرة جدا بحيث لا ترتفع بسرعة لامكان الفصل بالجاذبية يمكن ان تتصادم وتلتحم الى حبيبات اكبر وذلك بالمرور خلال مجال من البلاستيك مثقب قابل للتبلل بالزيت (Oelophilic – Oil Wattable) مثل البولى بروبيلين أو البولى يوريثين الرغاوى أو النسيج (Foam Or Fabric). احد التجهيزات لهذا النوع موضح فى الشكل (2/19) عند الاستخدام يتدفق الماء الزيتى الى داخل الخرطوشة ثم الى الخارج خلال الجدران حيث يحدث الالتحام. يستخدم عديد من الخرطوش فى غرفة واحدة لتدوال احجام ضخمة من الماء.



شكل (2/19) مرشح الخرطوشه لالتصاق الزيت (سائل فى سائل)

مجال الفوم (الرغاوى) من البلاستيك للالتحام يمكن ان يتعامل مع مياه الانتاج التى تحتوى على قليل أو لا تحتوى على مواد صلبة تبتل بالزيت ولكن تراكم المواد الصلبة الزيتية (Fouling) عادة يسبب مشاكل. فى جهاز الفصل بالفوم الذى يبتل بالزيت المصمم لازالة كلا من الزيت والمواد الصلبة المتبله بالزيت موضح فى الشكل (2/20). الزيت الخفيف الملتحم يتحرك خلال حائط الفوم ويسحب آليا الى الخارج. الزيت الثقيل، المواد الصلبة الزيتية والبارافينات تحتجز فى جسم الفوم بعمليات الادمصاص، الالتحام، الحجز. مع زيادة الانسداد فى جسم الفوم، يزداد الفقد فى الضغط والذى ينشط دورة التنشيط آليا. اثناء التنشيط ينعكس اتجاه تدفق الماء لقفل محبس عدم الرجوع وضغط جسم الفوم. تتدفق المياه للامام وللخلف وذلك لضغط وترك الفوم بالتبادل. جسم الفوم يصبح عندئذ نظيفا بالغاز ومياه الغسيل ويعود للخدمة. الفوم القابل للانضغاط والمستخدم للالتحام استخدم فى صناعة البترول منذ عام 1981.



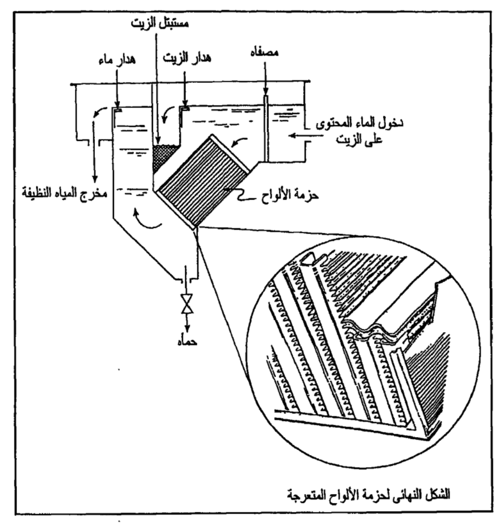
شكل (2/20) فصل الزيت عن الماء باستخدام البلاستيك المطاط (الفوم)

اجهزة الفصل بالمسار القصير : (Short Path Separators)

فى حالة الثبات، الجسم المحجوز فى الماء يميل إلى أن يرتفع أو أن يسقط بمعدل ثابت يسمى السرعة. الزمن اللازم للفصل يعتمد على طول المسار الذى يجب أن يسلكه الجسم ليصل اما الى سطح الماء أو الى قاع الوعاء. فى احواض الترسيب العادية متوسط عمق الماء لا يقل عن 1-2 متر . الجسم بقطر 100 مليميكرون وكثافة 2.7 جرام/سم^3 يحتاج الى 3 ساعات ليرسب خلال عمق واحد متر من الماء.

أجهزة الفصل بالمسار القصير عبارة عن مصفوفة متجاورة ومتلاصقة من الألواح أو من الانابيب ذات القطر الصغير والتى تتدفق المياه خلالها بدون اضطراب. خلال مساحات التدفق المحصورة هذه ، فان نقاط الزيت أو جسيمات الحمأة لها مسافة قصيرة فقط (عادة 4-10سم) لتطفو أو تسقط لتصل إلى سطح صلب حيث تتركز أجهزة الفصل بالالواح المائلة المتوازية تتوفر بتصميمات ومسميات مختلفة. العناصر الاساسية موضحه فى الشكل (2`21) والتى توضح نظام العمل. الميزة الاساسية هى انها توفر فى مساحة صغيرة، وتدفق خلال 15- 30 دقيقة نفس درجة الفصل التى

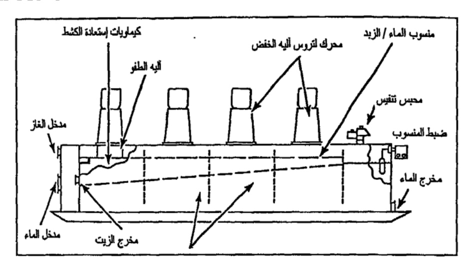
يتم الحصول عليها فى حوض ترسيب ضخم فى فترة زمنية 2 ساعة أو اكثر. وهى لا تزيل الزيت المستحلب إلا فى حالة إضافة كيماويات إزالة الاستحلاب فوق التيار.



شكل (2/22) عناصر جهاز الفصل بالمسار القصير

الفصل بالطفو: (Separation By Flotation)

الفصل بالطفو هو من العمليات التى استخدمت فى حقول البترول لتنظيف المياه المنتجة. مبدأ العمل يعتمد على زيادة القدرة على الطفو للزيوت والأجسام الصلبة المحتجزة بالالتصاق بفقاعات الغاز. فقاعات الغاز يتم توليدها بالاتى:

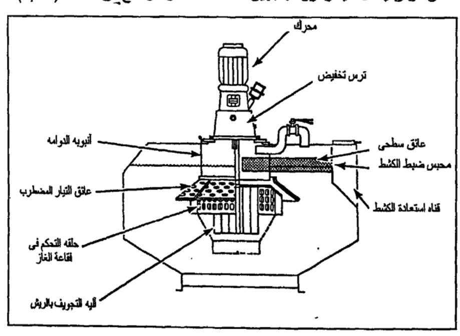


شكل (2/22) جهاز الطفو بادخال الغاز لترويق المياه

(1) تسليط ضغط على الماء الذى تم تغذيته مسبقا بالغاز المذاب.

(2) بالتشتت الميكانيكى للغاز وانتشاره فى الماء فى حالة تفتت. الطريقة الاخيرة تسمى ادخال الغاز أو الطفو (Forth Flotation) وهى تستخدم كثيرا فى عمليات انتاج البترول.

الشكل (2/22) يوضح مظاهر هيكل أربعة غرف، لماكينة التغذية بالغاز. الماء الذى به زيت (Oily Water) يتدفق خلال كل غرفة أو خليه على التوالى. فى كل خليه مثبت عليها مغذى للغاز دوار يعمل آليا ومزود بتجهيزه تشتت كما هو موضح فى الشكل (2/23).



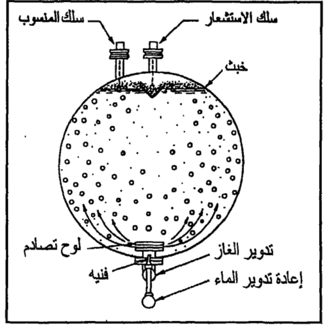
شكل (2/23) خلية آليه طفو الغاز الداخل

الغاز من المنطقة العليا للغرفة يتم امتصاصه (سحبه) إلى اسفل الى تجهيزه التشتت حيث تخلط فى شكل فقاعات صغيرة فى المياه القادمة. كيماويات المعالجة التى أضيفت الى الماء المخلوط بالزيت فوق التيار لماكينة الطفو تنشط الطفو (الفصل) لمستحلب الزيت/الماء وكذلك التصاق فقاعات الغاز مع نقاط الزيت والأجسام الصلبه. الخليط الناتج من فقاعات الغاز، الزيت يطفو بسرعة إلى أعلا كل خليه كطبقة خبث يتم التركيز والتنشيط بواسطة عائق سطحى مثبت الذى يوجه طبقة الزيت الطافى فوق هدار تم ضبطه الى قناة استعادة المادة التى تم كشطها التى تأخذ الخارج من جميع الخلايا.

مخلفات الزيت يتم تجميعها باستمرار وصرفها، وجزء من الغاز الذى كرر يتم تدويره.

بعض الانشاءات الحقليه استخدمت الهواء كغاز للطفو. ولكن الان يستخدم الغاز الحقلى لخفض التآكل وتراكم البكتريا. استخدام الغاز الخالى من الهواء فى ماكينة الطفو المعزولة جيدا يوفر ميزة التخلص من الاكسجين المذاب فى المياه المعالجة.

حاليا يتوفر تصميم لنظام الطفو بدون اجزاء ميكانيكية متحركة يتم دخول الغاز بواسطة باثق كما هو موضح فى الشكل (2/24).



شكل (2/24) خليه طفو الغاز بالدخول الاستاتيكى

يتم انتاج فقاعات الطفو عند تصادم خليط الغاز` الماء مع لوحة التصادم (Striker Plate) عند سرعة عاليه. يتوفر حوض كشط قرب القمة للوعاء لسحب الخبث الزيتى. يستخدم عادة اربع خلايا على التوالى لتوفير معالجة للمرات المتعددة. بصرف النظر عن آليه انتاج الفقاعة المستخدمة، فان كل تجهيزات الطفو معرضه لسوء الاداء وذلك فى حالة دخول الماكينة تركيزات من حمأة الزيت. لذلك فان الطفو يستخدم عادة كمعالجة نهائية للماسورة تحت التيار لمعدة الفصل الأولى كالموضح فى الشكل ص (2/17)

عملية التحكم فى ازالة الزيت: [Oil Removel process Control]

بصرف النظر على عملية ازالة الزيت المستخدمة، فانه يجب توفر البيانات التىتساعد فى تعيين ما إذا كانت المياه المعالجة خاليه من الزيت المتبقى والمواد الصلبة الزيتية بما يكفى لتحقيق المتطلبات اما للتخلص السطحى اوالحقن تحت السطح.

التخلص من الخلفات الزيتية ونظافة بئر الحقن:

Oily Waste Disposal And Injection Well Cleaning

كل الطرق المختلفة لفصل الزيت والمواد الزيتية الصلبه التى تم مناقشتها تنتج حجم ما من المخلفات المركزة نسبيا. الزيت الحر والمواد الصلبه المرتبطة به يمكن تحويلها الى حوض تخزين (Lease Stock Tanks) ثم تختفى فى خط المواسير.

المحتوى العالى من الزيوت لمياه الغسيل العكسى من المرشحات أو اجهزة الالتحام والحمأة التى تم فصلها من وحدات الطفو يجب التخلص منها. بعض الاماكن لحسن الحظ لها واحد أو اكثر من آبار التخلص (Disposal Wells) التى تقبل المياه عاليه التركيز. آبار التخلص يمكن تكرار معالجتها (Fractured) للمحافظة على امكانية الحقن، إذا كان الموقع، سمك، جيولوجية التربة تسمح بذلك. ولكن، المخلفات ذات الاساس المائى (مياه الغسيل العكسى، المياه ما بعد الطفو) عادة يتم تدويرها ثانيا الى النظام حيث تنتهى الى آبار الحقن الاولية للطفو اثناء فترة توقف البئر. وبالنسبة للبديل وهو الحرق الا انه مكلف لمعظم حقول البترول.

نظافة بئر الحقن تتم من آن لآخر بحقن احجام معينة من حامض محتوى على تركيزات عاليه من مادة النشاط السطحى (10-15% بالحجم) المذابه فى مادة غروية (Miccellar Surfactant Solvents) مثل (NL). قادرة على اذابة الزيوت الثقيلة والمواد

العضوية الاخرى وتذيب كثير من المواد المتبقية العادية مثل نواتج التاكل وجسيمات من قشو الكربونات .

بعد فترة نقع (12- 24ساعة)، فان مادة الانسداد المذابة يتم طردها الى الخارج من آبار الحقن باستئناف حقن المياه.

الكيماويات المذابة الغروبة تستخدم حاليا بتركيزات اقل (5% من الحجم) للتنمية بالحامض لآبار الانتاج. فى حالة المياه العفنة لابار الحقن، فان زيادة التركيزات للاضافات (10-15% بالحجم) تساعد على زيادة الاذابة الكاملة لمواد الحمأة الزيتية و تزيد من الفترة الزمنية بين المعالجات. فى الواقع توجد شواهد ان برنامج النظافة المنتظم لبئر الحقن باستخدام الحامض/ مذيب مادة النشاط السطحى (Surfactant Solvent) يمكن ان تكون اكثر تكلفة عن الانشاءات والعمليات لمعاجلة تجهيزات معالجة المياه السطحية مثل طفو الغاز. هذا حقيقى حيث لا توجد طريقة مناسبة للتخلص من المخلفات المركزة من معدات المعالجة السطحية.

الفهرس

الباب الأول

الحماية من التآكل لحقول إنتاج البترول والغاز

الباب الثاني

تكنولوجيا المياه في إنتاج البترول والغاز

لقد تناول هذا الكتاب بأسلوب علمي مبسط مشاكل التآكل والمياه في حقول إنتاج البترول والغاز. وقد تم معالجة هاتين المشكلتين معاً لسببين. أولهما أن كل التآكل الذى يحدث في معدات الإنتاج يكون أساساً في وجود الماء السائل. لذلك كان من الضرورى بعض المعلومات عن خواص المياه وتفاعلاتها لمعرفة كيف وأين يحدث التاكل. رغم أن نظم صرف المياه ونظم حقن المياه لها مشاكل أخرى بالإضافة إلى التاكل، إلا أن العاملين القائمين على برنامج الحماية من التاكل تخب أن يتعاملا مع مشاكل تداول المياه كذلك. ولهذا فإن هذا الإصدار الذى أعده المؤلف دليل على الخبرة العلمية والعملية في حقول آبار البترول والغاز. ولقد كان هذا هو الدافع إلى ترجمته لإثراء المكتبة العربية ولإفادة العاملين في حقول البترول والغاز وذلك لندرة الإصدارات في هذا المجال.

والله ولى التوفيق

الناشر





دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

☎ ٧٩٥٤٢٢٩

WWW sbheg.com

e-mail: sbh@link.net